

PALEOSISMOLOGIA DELLA PIANA DEL FUCINO (ITALIA CENTRALE)*

F. Galadini⁽¹⁾ - P. Galli⁽²⁾ - C. Giraudi⁽³⁾

⁽¹⁾CNR, Centro di Studio per la Geologia Tecnica, Roma (e-mail: galad@dots.ing.uniroma1.it)

⁽²⁾Servizio Sismico Nazionale, Roma (e-mail: galli@mail.dstn.pcm.it)

⁽³⁾ENEA - C.R. Casaccia, Roma (e-mail: giraudi@casaccia.enea.it)

ABSTRACT - Paleoseismology of the Fucino Plain (central Italy) - *Il Quaternario Italian Journal of Quaternary Sciences*, 10(1), 1997, 27-64 - The tectonic evolution of the Fucino Plain (649-720 m a.s.l.), one of the major intermontane depressions of the Apennine chain, started during the Pliocene, as Plio-Pleistocene sediments unconformably cover the older marine deposits. The Pleistocene tectonic activity was responsible for the formation of a NW-SE trending half-graben. The major Quaternary faults, characterized by mainly extensional kinematics, are located along the eastern (NW-SE trending) and northern (NE-SW trending) borders of the basin. The Fucino Plain is one of the few areas in Italy where surface faulting unequivocally occurred during historical times (1915 earthquake). Previous works indicate that coseismic displacements occurred along different faults during the 1915 earthquake ($M=6.7$; more than 30,000 casualties) and that displacements occurred along these faults during events preceding the 1915 one. In 1992-1996, paleoseismological techniques were used at 11 different sites along 4 faults (Marsicana Hwy. fault system, San Benedetto dei Marsi-Gioia dei Marsi, Trasacco and Luco dei Marsi faults) by analysing exposures in trenches *ad-hoc* excavated across the different faults or in excavations made for non-scientific purposes (such as the laying of an aqueduct or a gas pipeline). Detailed paleoseismological research was carried out along the Trasacco fault, a minor fault located in the most internal area of the basin. In fact the Fucino Plain was a lake until 1875 (when it was drained for agricultural purposes), therefore the study of the Trasacco fault may provide extensive data due to almost continuous lacustrine deposition within the central part of the basin. Datings of the different sedimentary successions affected by Upper Pleistocene and Holocene displacements were obtained using radiocarbon and thermoluminescence techniques and archaeological datings on pottery fragments. In the central and south-western part of the basin the long excavation made for the laying of an aqueduct and the walls of the present main drainage channel (trending E-W) permitted the reconstruction of the Upper Pleistocene-Holocene lacustrine succession and detailed stratigraphic correlations between different sites. The studied trench-walls and outcrops are extensively illustrated in twenty text-figures. A summary of the different displacement events detected in the studied 11 sites is reported in the text as a table. Ten surface faulting events were detected in the last 33,000 years, 7 of which occurred during the Holocene. Datings of the different paleoseismic events indicate that at least the most recent events simultaneously affected the studied faults. The time interval between successive surface faulting events ranges from 1100-1400 years (the difference between the 1915 event and the so-called High Middle Age Event) to 1500-1700 years (or 2000-2600 years if we consider the calibrated ^{14}C ages; time period between the so-called Bronze Age Event and the Second Neolithic Event). Therefore, available data indicate that high magnitude events are characterized by recurrence intervals larger than 1000 years. The slip rate was calculated for the Marsicana Hwy fault (for the last 20,000 years), the San Benedetto dei Marsi-Gioia dei Marsi fault (for the last 10,000 years) and the Trasacco fault (for the last 7000 years), by taking into account their vertical offset. The inferred value for each fault is about 0.4 mm/yr. This value decreases along the Trasacco fault from south to north as a result of the decreasing offset. Considering that the 1915 earthquake is the only strong event known to have occurred in the area in the last 1000 years, the recognition of paleo-earthquake effects represents an important step in the understanding of the seismic behaviour of the region. The comparison with the previous works show that new data strongly improve the paleoseismological knowledge of the studied area; moreover, these data give important constraints for the definition of the geometry and behaviour of the Fucino Plain seismogenic structure during time.

RIASSUNTO - Paleosismologia della Piana del Fucino (Italia centrale) - *Il Quaternario Italian Journal of Quaternary Sciences*, 10(1), 1997, 27-64 - Negli anni 1992-1996 è stato effettuato uno studio paleosismologico nella Piana del Fucino, area epicentrale del terremoto del 13 gennaio 1915 ($I_0=XI$). Le ricerche hanno riguardato quattro distinte faglie per le quali lavori precedenti già avevano riconosciuto attività olocenica certa o probabile. L'analisi paleosismologica è stata condotta tramite il rilevamento e la datazione dei sedimenti affioranti sulle pareti di trincee realizzate *ad hoc* o di scavi realizzati da altri enti per scopi non scientifici in corrispondenza delle faglie oloceniche. Gli undici siti studiati hanno consentito di individuare 10 eventi di fagliazione di superficie negli ultimi 33.000 anni, di cui 7 collocabili nell'Olocene. I vincoli cronologici per gli eventi di dislocazione individuati sono stati ottenuti mediante datazioni assolute con i metodi del radiocarbonio e della termoluminescenza su frammenti ceramici, nonché tramite determinazioni archeologiche su ceramiche e correlazioni stratigrafiche. Questi dati consentono di affermare che almeno gli ultimi eventi di dislocazione hanno interessato contemporaneamente le diverse faglie analizzate. Il tempo intercorso tra gli eventi di dislocazione osservati è compreso tra i 1.100-1.400 anni circa (tra il 1915 e l'evento alto-medievale) e i 1.500-1.700 anni (2.000-2.600 anni se si considerano età radiocarbonio calibrate; tra l'evento della media Età del Bronzo ed il secondo evento neolitico). La velocità di movimento nelle ultime migliaia di anni è dell'ordine di 0.4 mm/anno per le faglie della S.S. Marsicana, S. Benedetto dei Marsi-Gioia dei Marsi e Trasacco. Questi risultati migliorano sensibilmente il quadro delle conoscenze sismologiche e sismotettoniche della regione marsicana; forniscono altresì dei vincoli per la definizione delle caratteristiche geometriche ed il comportamento nel tempo della struttura sismogenetica fucinese, elementi imprescindibili per future analisi di pericolosità sismica della regione.

Parole chiave: Paleosismologia, faglie attive, sismogenesi, Olocene, Italia centrale
Keywords: Paleoseismology, active faults, seismogenesis, Holocene, central Italy

1. INTRODUZIONE

Gli studi paleosismologici in varie aree abruzzesi (Giraudi, 1988; 1989a; 1989b) e nell'area del terremoto

irpino del 1980 (D'Addezio *et al.*, 1991) costituiscono i primi esempi di questo tipo di ricerche in Italia. I lavori paleosismologici finora disponibili hanno evidenziato che la fagliazione di superficie lungo determinate strutture

(*) Lavoro eseguito con parziale finanziamento del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti.



Fig. 1 - Planimetria della conca del Fucino. Sono riportate le faglie principali cui è riferibile il movimento in occasione del terremoto del 13 gennaio 1915 (i dentini rappresentano la parte ribassata; i segmenti tratteggiati sono derivati dall'analisi fotogeologica). Le correlazioni stratigrafiche effettuate al fine di datare la successione sedimentaria in alcuni dei siti studiati sono derivate dal rilevamento delle pareti delle lunghe trincee realizzate per la posa in opera di un metanodotto (settore NE del

bacino) e di un acquedotto (settori Est e Sud del bacino) negli anni 1993 e 1994, e dal rilevamento delle pareti dei canali collettore e controcollettori che collegano il Bacinetto alla galleria che attraversa il M. Salviano.

Location map of the Fucino Plain, showing the traces of earthquake-induced surface fault ruptures related to the 1915 Marsica earthquake. Hatch-marks represent the downthrown side of the fault; dashed segments are inferred from aerophotogeological analysis and numbers refer to the different studied sites. Stratigraphic correlations between the various sites of the SW part of the basin (necessary to precisely define the sedimentary chronology near the Trasacco and Luco faults) were possible due to a detailed survey of the walls of an aquaduct trench excavated in 1993-94 (thin line between Trasacco, Luco and Incile Romano) and through more than 300 hand-boreholes (maximum depth 5 m).

sismogenetiche di aree appenniniche può essere caratterizzata da intervalli di ricorrenza molto lunghi, ovvero dell'ordine del migliaio di anni o più. Nel caso dell'area abruzzese, inoltre, evidenze paleosismologiche di fagliazione di superficie sono state osservate in diversi domini sismotettonici come il Gran Sasso, la regione marsicana e la Piana di Aremogna (Giraudi, 1989a; 1989b; 1995a; Cinti *et al.*, 1992; Giraudi & Frezzotti, 1995), lungo strutture alle quali spesso non è possibile riferire univocamente eventi storici di elevata magnitudo.

Considerando la sismicità storica della conca del Fucino in lavori precedenti al 1915 (Mercalli, 1883; Baratta, 1901), l'area fucense sarebbe potuta rientrare nella casistica di cui sopra. Se si fosse valutato il livello della sismicità della regione precedentemente al 1915, questo sarebbe stato definito basso o, più correttamente, inerente una zona caratterizzata da "instabilità" ma per la quale non può essere chiaro "a sufficienza il carattere della sua attività sismica" (Baratta, 1915). In un contesto di questo tipo il terremoto del 1915 costituiva un evento del tutto inatteso (a parte la "previsione" di Omori, 1909). Come conseguenza, già a partire da Baratta (1915), si sono invocati, per eventi di siffatta intensità, tempi di ritorno assai più lunghi di quelli abbracciati dall'arco temporale delle fonti storiche.

A fronte di una realtà di questo tipo risulta chiara la necessità di definire, tramite gli studi paleosismologici, la cronologia degli eventi reponsabili di dislocazioni cosismiche precedentemente al 1915 e di confrontare le caratteristiche dei vari eventi di fagliazione (in termini di

geometria e cinematica) con quelle della fagliazione di superficie del terremoto del 1915.

Nell'area in oggetto gli studi sulle faglie oloceniche e tardo-pleistoceniche sono iniziati a partire dalla metà degli anni ottanta ad opera di ricercatori dell'ENEA. Ma il maggiore contributo di dati rivolto alla individuazione e qualificazione delle faglie attive nell'Olocene è da riferire al periodo 1992-1996. In questo periodo l'attività di ricercatori del CNR, dell'ISMES e dell'ENEA ha consentito il rilevamento di dettaglio delle pareti delle lunghe trincee realizzate per la posa in opera del metanodotto SNAM e dell'acquedotto dell'area industriale di Avezzano (Fig. 1), ha consentito altresì la realizzazione di trincee a scopo paleosismologico in corrispondenza delle faglie San Benedetto dei Marsi-Gioia dei Marsi e di Trasacco (Fig. 1).

Nell'ottica di fornire un contributo alla caratterizzazione sismogenetica dell'area fucense vengono presentati i dati emersi dalle indagini condotte nei suddetti scavi e trincee in corrispondenza di faglie ad attività olocenica.

La trattazione dei dati paleosismologici è stata suddivisa in capitoli, ognuno dei quali si riferisce ad una delle faglie principali del Fucino. Paragrafi distinti invece riguardano i singoli siti analizzati, per i quali vengono prima riportati alcuni cenni sulla successione stratigrafica, poi le indicazioni di tipo tettonico e la successione degli eventi deformativi. Prima della presentazione dei dati relativi alle faglie di Trasacco e di Luco dei Marsi (Fig. 1), un capitolo specifico tratterà la stratigrafia della successione lacustre del settore centro-meridionale

dell'alveo del lago storico⁽¹⁾, per il quale più dati sono disponibili (grazie all'analisi delle pareti dei lunghi scavi di cui si è fatto cenno), fondamentali per l'inquadramento cronologico delle deformazioni analizzate.

2. LAVORI PRECEDENTI⁽²⁾

Come già osservato nell'Introduzione, gli studi sull'attività tettonica tardo-pleistocenica ed olocenica sono iniziati intorno alla metà degli anni '80 (Frezzotti & Giraudi, 1986; Giraudi, 1986).

Una prima cronologia approssimata di una serie di eventi sismici avvenuti prima del 1915 è fornita da Giraudi (1988). Gli indizi di questi eventi sono rappresentati da scarpate di faglia che interessano sedimenti di età nota, crolli coevi presenti in varie grotte ed indizi di deformazioni cosismiche desumibili dalle relazioni del secolo scorso riguardanti i lavori di bonifica del lago del Fucino. Gli eventi individuati dall'autore, risalenti a circa 5.500-5.000 anni fa, 3.500-3.000 anni fa ed al periodo tardo-romano o alto-medievale sembrano indicare lunghi tempi di ritorno per terremoti di magnitudo analoga a quella dell'evento del 1915.

Brunamonte *et al.* (1991) e Michetti *et al.* (1996) riportano i risultati emersi dallo scavo di due trincee nella zona di San Benedetto dei Marsi, confermando l'esistenza di fenomeni ripetuti di fagliazione di superficie. In particolare, gli autori identificano gli effetti di un terremoto altomedievale, posteriore a 1.375±75 anni B.P. (datazione ¹⁴C) e ipotizzano che la giacitura, apparentemente anomala, di alcuni livelli lacustri sia legata ad un'altra deformazione cosismica di età compresa tra il IX ed il XIV secolo d.C.

Per quanto riguarda aree limitrofe alla Piana del Fucino e strutturalmente a questa legate (vedi Galadini & Messina, 1994) vanno segnalati i dati emersi dalle analisi paleosismologiche di Cinti *et al.* (1992) sulla struttura Ovindoli-Piano di Pezza (a Nord del Fucino), già in precedenza studiata da Biasini (1966) e Giraudi (1989c). I primi autori riconoscono gli effetti di due eventi sismici di cui il più antico di età compresa fra il 2208 a.C. ed il 1019-1349 d.C. ed il secondo successivo al 1019 d.C.

3. SCELTA DEI SITI E METODOLOGIA UTILIZZATA

In alcuni casi (siti 1, 3, 5, 6, 11 in Fig. 1), gli scavi che hanno intersecato le faglie analizzate sono stati realizzati da vari Enti con finalità diverse (posa in opera di un acquedotto e di un metanodotto, sbancamenti per

prelievi di materiali detritici calcarei). Nei casi in cui sono state realizzate delle trincee ad hoc da parte degli scriventi, la scelta iniziale dei siti è risultata da osservazioni mediante l'utilizzo di fotografie aeree. Nel caso della faglia San Benedetto dei Marsi-Gioia dei Marsi, la scelta preliminare dei siti è stata fatta in base all'individuazione dei tratti in cui la scarpata di faglia è maggiormente evidente; nei casi delle faglie di Trasacco e di Luco dei Marsi è stata data importanza ai tratti più evidenti dei lineamenti nell'alveo del lago storico segnalati da Giraudi (1988). Alla fotointerpretazione sono seguite delle indagini di campagna effettuate mediante la realizzazione di sondaggi a mano disposti secondo allineamenti perpendicolari alle strutture individuate. Questo tipo di analisi è stato reso possibile dalla natura dei sedimenti, prevalentemente lacustri, nonché dai contrasti di litologia e colore, in alcuni casi assai netti, che caratterizzano la successione stratigrafica. E' stato pertanto possibile realizzare delle sezioni schematiche, precedentemente alla realizzazione delle trincee, in grado di evidenziare la dislocazione dei sedimenti lacustri. Queste indagini hanno riguardato i siti 4, 7, 8, 9 e 10 (Fig. 1). Il sito 2 è invece stato scelto esclusivamente su basi morfologiche, essendo evidente, anche se fortemente rielaborata, la scarpata di faglia alla base del versante occidentale del Colle delle Cerese, già segnalata da Giraudi (1988).

In generale, nel corso dell'analisi paleosismologica si è fatto largo uso dei dati disponibili sull'evoluzione geologica recente del lago Fucino. In particolare, è stata data notevole importanza alle conoscenze acquisite sulla stratigrafia (vedi Giraudi, 1988) e sulle geometrie deposizionali dei sedimenti lacustri tardo pleistocenici-olocenici dell'area fucense, nonché sulle oscillazioni del livello del lago. Il dettaglio con cui è stato possibile ricostruire la stratigrafia dell'area e le geometrie deposizionali dei livelli lacustri è notevole nel settore centro-occidentale del bacino (per le favorevoli coincidenze rappresentate dalla realizzazione del lungo scavo dell'acquedotto per l'area industriale di Avezzano e dalla recente pulitura delle pareti dei canali collettori e controcollettori, nonché collettore del Bacinetto). Questi dati sono risultati addirittura determinanti nell'interpretazione paleosismologica delle sezioni relative ai siti lungo le faglie di Trasacco e di Luco dei Marsi.

4. METODI DI DATAZIONE

Per ciò che concerne la datazione dei sedimenti interessati dagli eventi di dislocazione analizzati, vari metodi sono stati utilizzati (radiocarbonio, termoluminescenza, archeologia). Nella Tabella 1 sono riportate tutte le datazioni di laboratorio (ottenute mediante analisi con i metodi del radiocarbonio e della termoluminescenza) ed i siti di provenienza dei campioni analizzati.

Le analisi con il metodo del radiocarbonio (¹⁴C) sono state effettuate presso i Laboratori Radiocarbonio dell'ENEA di Bologna e del CRAD di Udine. I campioni analizzati sono identificati dalle sigle BO e UD (in funzione del laboratorio nel quale sono stati trattati), seguite dai numeri di serie. Le date sono state calibrate mediante l'utilizzo del programma CALIB. 3.0 di Stuiver & Reimer

(1) Per quanto riguarda il prosciugamento del lago del Fucino operato nel XIX secolo, si può fare riferimento a Brisse & De Rotrou (1883). Un'ampia trattazione sulla bonifica del lago effettuata in epoca romana si trova in D'Amato (1980).

(2) Per quanto concerne le caratteristiche neotettoniche dell'area, si può fare riferimento a Galadini & Messina (1994) e relativa bibliografia; per quanto riguarda gli effetti geologici del terremoto del 1915 ci si può riferire a Galadini *et al.* (1995) e relativa bibliografia.

Tabella 1 - Età di laboratorio ottenute con i metodi del radiocarbonio (sigle dei campioni: UD e BO) e della termoluminescenza (sigla dei campioni: T). Alcuni campioni (*) sono stati prelevati in uno scavo immediatamente ad Ovest del Bacinetto. L'ultima datazione riportata nella tabella (**) si riferisce al valore ottenuto mediante analisi con il radiocarbonio da Kieffer (1979) sui depositi piroclastici etnei di Biancavilla-Montalto (vedi nota 9).

Laboratory ages obtained with radiocarbon (UD and BO samples) and thermoluminescence (T samples) datings. Samples with one astrisk were collected from a site not reported in Fig. 1, located to the west and very close to Bacinetto. The date with two asterisks is given in Kieffer's (1979) paper and refers to Mt. Etna (Sicily). It was used by Narcisi (1993) for tephrochronology of the Fucino Plain.

ETA' DI LABORATORIO		
Sigla Campione	Età Laboratorio (B.P.)	Sito di campionamento
UD449	1.450±100	4
UD440	3.760±70	2
BO393	5.060±90	11
UD452	5.340±100	4
UD436	5.670±90	*
BO387	6.170±140	2
UD451	7.120±120	4
UD433	8.660±100	*
UD434	9.260±100	*
UD450	10.400±140	4
UD435	10.790±110	8
UD439	10.990±120	*
BO391	12.100±50	8
BO332	19.100±650	1
BO354	32.520±500	5
BO390	23.420±280	8
UD441	27.230±450	7
UD438	3.490±70	9
UD437	3.390±70	9
T1	4.670±430	5
T2	2.783±213	5
T3	1.547±142	2
T4	1.444±142	2
T5	661±46	5
T6	708±59	5
T7	766±100	5
T8	730±56	5
T9	789±78	5
-	14.180±260	**

(1993) che fornisce calibrazioni utilizzando sia il metodo delle intercette che quello della distribuzione della probabilità (Tab. 2). Il programma consente calibrazioni di date fino a circa 18.400 anni B.P.

Nei paragrafi dedicati all'analisi paleosismologica le date ^{14}C sono riportate sia nella versione fornita dal laboratorio, sia nella versione calibrata. La scelta di riportare entrambi i tipi di date (non soltanto quella calibrata) è legata alla necessità di rendere omogenea la loro espressione, essendo disponibili anche alcune date ^{14}C non calibrabili, più antiche di 18.400 anni B.P.

Le analisi col metodo della termoluminescenza su frammenti ceramici sono state realizzate da E. Sibilia del Dipartimento di Fisica dell'Università di Milano con tecnica *fine-grain* (vedi Zimmermann, 1971).

La datazione dei frammenti ceramici di età neolitica, dell'Età del Bronzo o di età romana tramite analisi

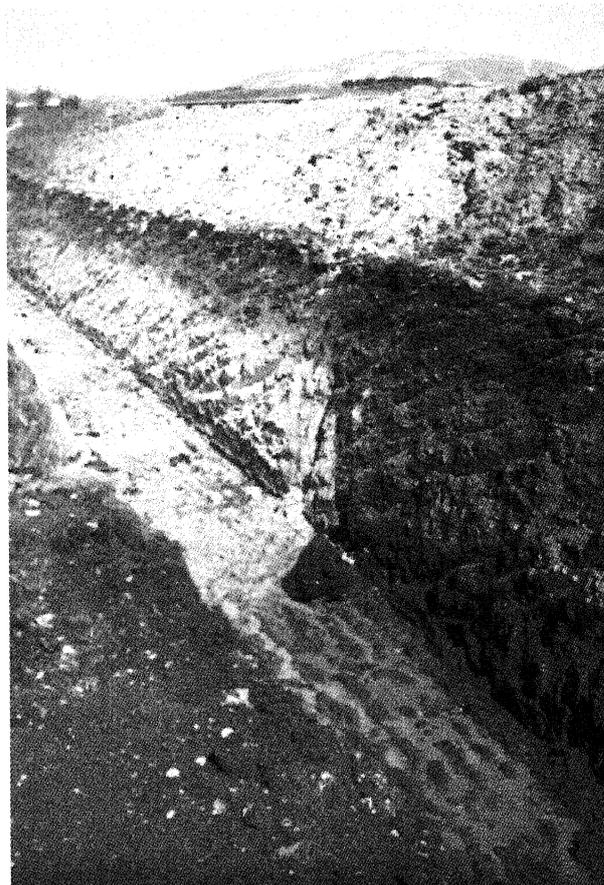


Fig. 2 - Scavo per la posa in opera del metanodotto a Sud di Cerchio (v. Fig.1). E' visibile il contatto per faglia tra sedimenti di colore chiaro ed una successione di sedimenti di colore più scuro (per maggiori dettagli vedi Fig. 3).

View of the southern wall of the gas-pipeline trench excavated south of Cerchio (site 1 in Fig.1). The fault separating whitish silts from a darker sedimentary succession is clearly evident (see Fig. 3 for major details).

archeologiche è stata effettuata da V. D'Ercole della Soprintendenza Archeologica dell'Abruzzo e da P. Petitti della Soprintendenza Archeologica dell'Etruria Meridionale.

5. ANALISI PALEOSISMOLOGICHE SULLA FAGLIA DELLA S.S. MARSICANA

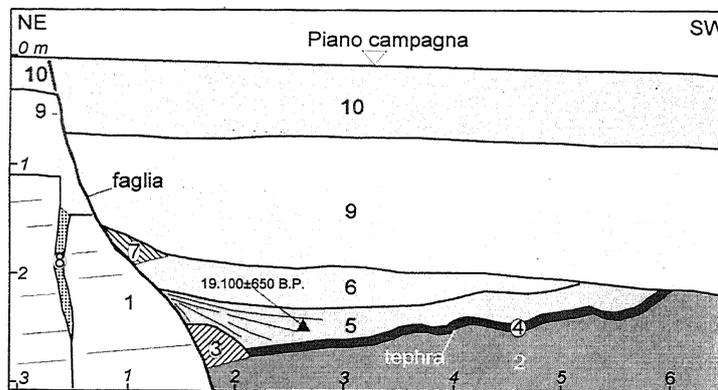
Due faglie con orientazione NW-SE, ubicate a valle della S.S. Marsicana ad Est di Cerchio, sono state osservate nel corso dei rilevamenti lungo le pareti della trincea scavata per la posa del metanodotto SNAM (sito 1 in Fig. 1; Fig. 2). Le due faglie, distanti circa 35 m tra loro, sono osservabili fino al limite inferiore dell'aratura; ad esse Galadini *et al.* (1995) riferiscono ipoteticamente il movimento nel 1915.

5.1 Stratigrafia

La successione dislocata dalle due faglie è costituita da sedimenti lacustri (limi argillosi biancastri) che passano verso l'alto a sedimenti più grossolani in parte di origine colluviale, sabbiosi e ghiaiosi (Figg. 3 e 4); evi-

Fig. 3 - Sezione geologica della parete S della trincea eseguita dalla SNAM per la posa in opera del metanodotto (sito 1 in Fig. 1). Legenda: 1 = argille grigio-giallastre fittamente stratificate, inclinate di 5° verso NE; 2 = argille grigio-giallastre non stratificate (colluvio di 1? parte sommitale di 1?); 3 = argille grigio-giallastre (colluvio di 1); 4 = sabbia vulcanica con cristalli di biotite di grandi dimensioni (fino a 1 cm), con frazione di sabbia calcarea nella parte alta, parzialmente stratificata, inclinata di 8° verso NE; 5 = sabbia vulcanica a grandi biotiti, parzialmente stratificata, inclinata di 8° verso NE nella parte più distale rispetto alla faglia, colluvio di 4 (19.100±650 anni B.P., datazione ¹⁴C, campione BO332); 6 = ghiaie con matrice sabbiosa; 7 = limi di origine colluviale; 8 = limi (riempimento della frattura); 9 = alternanze di ghiaie sabbiose e sabbie ghiaiose; 10 = ghiaie con matrice nerastra di origine colluviale, con suolo sviluppato nella parte sommitale. In questa sezione sono stati riconosciuti quattro eventi negli ultimi 19.100±650 anni B.P., di cui almeno uno successivo a circa 4.500 anni fa.

Geological section of the southern wall of the gas-pipeline trench excavated south of Cerchio (site 1 in Fig. 1). Legend: 1 = laminated yellowish-grey clays, dipping 5° towards the NE; 2 = massive yellowish-



grey clays (colluvium of 1? top of 1?); 3 = yellowish-grey clays (colluvium of 1); 4 = partially layered volcanic sands (calcareous sands in the highest part) with large biotite crystals (≤ 1 cm), dipping 8° towards the NE; 5 = partially layered volcanic sands with large biotite crystals, dipping 8° towards the NE (in the part of the figure farthest from the fault), colluvium of 4 (19,100±650 years B.P., based on radiocarbon dating); 6 = gravels with a sandy matrix; 7 = silts of colluvial origin; 8 = silts (fracture filling); 9 = alternating sandy gravel and gravelly sand levels; 10 = gravels with a blackish matrix of colluvial origin, with a soil in the upper part. Four displacement events have been identified as having occurred during the last 19,100±650 years B.P. (¹⁴C), one of these after 4500 years B.P.

denti superfici di erosione separano alcuni dei corpi sedimentari individuati. Per quello che concerne l'inquadramento cronostratigrafico della successione affiorante nello scavo, sono di particolare importanza un livello vulcanico con cristalli di biotite di dimensioni centimetriche (livello 4) ed un colluvio originatosi dal livello vulcanico (livello 5). Nella sezione di Figura 3, infatti, il colluvio di cui sopra (livello 5), ha fornito un'età pari a 19.100±650 anni B.P. (età ¹⁴C; campione BO332)

Un'ulteriore definizione dell'intervallo cronologico coperto dai sedimenti affioranti è fornita dal colluvio presente nella porzione superiore della sezione (livello 10),

Tabella 2 - Datazioni di laboratorio col metodo del radiocarbonio e relative età calibrate ottenute mediante l'utilizzo del programma CALIB 3.0 di Stuiver & Reimer (1993).

Laboratory and calibrated radiocarbon ages. Calibration was obtained by means of CALIB 3.0 (Stuiver & Reimer, 1993).

ETA' DI LABORATORIO (B.P.)	ETA' CALIBRATA (B.P.) metodo delle intercette	ETA' CALIBRATA (B.P.) distribuzione probabilità	
Sigla Campione	Età corretta	Età calibrata	% area sottesa 95.4 (2σ)
UD449	1.450±100	1.409±100	1.303
UD440	3.760±70	3.654±70	3.962 3.940 3.925
			4.153-3.807 [0,93]
BO393	5.060±90	4.917±90	5.650 5.630 5.621
			5.894-5.568 [0,88]
UD452	5.340±100	5.190±100	5.930
			6.198-5.723 [1]
UD436	5.670±90	5.510±90	6.293
			6.491-6.168 [0,95]
BO387	6.170±140	5.996±140	6.858 6.827 6.815 6.812 6.802
			7.167-6.495 [0,99]
UD451	7.120±120	6.919±120	7.682
			7.929-7.526 [0,98]
UD433	8.660±100	8.416±100	9.432 9.401 9.397
			9.538-9.146 [0,95]
UD434	9.260±100	8.999±100	9.978
			10.205-9.835 [0,93]
UD450	10.400±140	10.107±140	11.702
			12.181-11.005 [1]
UD435	10.790±110	10.486±110	12.404
			12.679-12.003 [1]
UD439	10.990±120	10.680±120	12.611
			12.871-12.303 [1]
BO391	12.100±50	12.070±50	14.077
			14.365-13.826 [1]

analogo a quello che, nella zona di Paterno, copre un insediamento neolitico (tarda cultura di Ripoli) datato ad un periodo di poco più recente di 4.500 anni fa (Pessina, 1989; Agostini *et al.*, 1992). Sfortunatamente, a causa della posizione topografica elevata rispetto al fondo del lago storico, la successione non contiene al tetto sedimenti contemporanei all'attività deposizionale storica del lago, utili ad una migliore scansione cronologica degli eventi di dislocazione.

5.2 Tettonica

Nella sezione di Figura 3 sono stati individuati almeno quattro eventi di dislocazione di età successiva alla deposizione del livello 4 (a parte il primo, gli altri sono probabilmente insieme di eventi di dislocazione).

Di questi quattro, al più antico è riferibile la formazione del cuneo colluviale 5. Infatti la stratificazione del deposito 5 indica chiaramente un'origine in corrispondenza della faglia; inoltre, gli alti valori di pendenza del colluvio (tenendo conto del fatto che l'area è pressoché orizzontale) testimoniano la sua formazione a causa dell'erosione di una scarpata. Questo evento, cronologicamente posteriore alla deposizione del livello vulcanico (4), ma precedente alla sedimentazione del livello 6, è sub-contemporaneo alla deposizione del colluvio (5) datato 19.100±650 anni B.P.

Considerando che l'entità della dislocazione del livello 6 è superiore a quella che interessa il livello 9, è possibile ipotizzare un secondo evento (o insieme di eventi) successivo alla deposizione del livello 6, ma precedente alla deposizione del livello 9.

Un terzo evento (o insieme di eventi) interessa il livello 9 che, come si desume dalla Figura 3 e meglio dalla Figura 4, presenta un'entità della dislocazione maggiore di quella che interessa il livello 10.

Per quanto concerne il quarto evento (o insieme di eventi), esso è rappresentato dalla dislocazione del livello 10; la sua età è pertanto più recente di 4.500 anni fa.

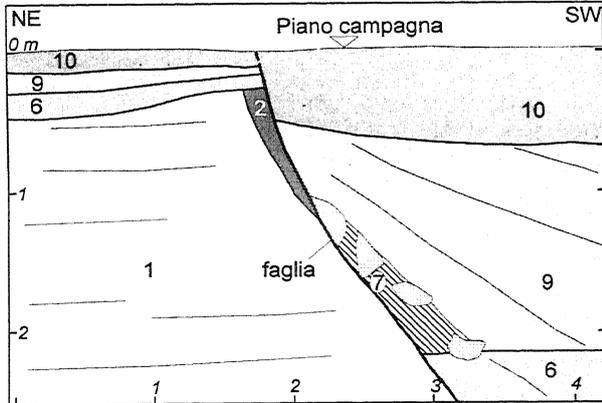


Fig. 4 - Sezione geologica della parete S della trincea eseguita dalla SNAM per la posa in opera del metanodotto (sito 1 in Fig. 1). La faglia evidenziata in questa sezione è posta circa 35 m ad Est della struttura evidenziata nelle Figg. 2 e 3. Legenda: 1 = argille grigio-giallastre fittamente stratificate, con giacitura sub-orizzontale; 2 = argille e ghiaie di origine colluviale, coinvolte nel movimento della faglia; 6 = ghiaie con matrice sabbiosa; 7 = limi argillosi di origine colluviale, con frammenti di argilla 1; 9 = alternanze di ghiaie sabbiose e sabbie ghiaiose, inclinate verso SW; 10 = ghiaie con matrice nerastra di origine colluviale con suolo sviluppato nella parte sommitale. N.B. I livelli 1, 6, 9, 10 sono gli stessi di quelli della sezione di Fig. 3.

Geological section of the southern wall of the gas-pipeline trench excavated south of Cerchio (site 1 in Fig. 1). The fault in this figure is located 35 m to the east of that represented in Figs. 2 and 3. Legend: 1 = sub-horizontal laminated yellowish-grey clays; 2 = colluvial clays and gravels deformed by fault movement; 6 = gravels with a sandy matrix; 7 = colluvial clayey silts, with fragments of level 1 clays; 9 = alternating sandy gravels and gravelly sands that dip to the SW; 10 = colluvial gravels with a blackish matrix and a soil at the top. Levels 1, 6, 9 and 10 are the same as in Figs. 3 and 4.

Le osservazioni condotte lungo la parete meridionale della trincea nella porzione rialzata dalla faglia (al di fuori del settore rappresentato in Fig. 3), permettono di attribuire al livello vulcanico un rigetto verticale compreso tra 5 e 7 m. La base del livello 6, la base del 9 e la base del livello 10 sono dislocate rispettivamente di più di 1 m, di circa 0.5-0.7 m e di 0.4 m.

Nella sezione rappresentata nella Figura 4, i sedimenti affioranti nella parte ribassata dalla faglia corrispondono ai livelli più alti della sezione precedente. Di conseguenza gli eventi (o insiemi di eventi) ben individuabili sono solamente gli ultimi due della sezione di Figura 3. Il primo di questi interessa il livello 9, il secondo il colluvio di suolo (livello 10) più recente di 4.500 anni fa. In questo caso le osservazioni condotte lungo la parte di parete di trincea non raffigurata in Figura 4 hanno permesso di valutare che, a causa dei movimenti della faglia, il livello vulcanico (livello 4 della sezione di Fig. 3) è stato dislocato di almeno 2,5 m e il rigetto del colluvio soprastante (livello 5 in Fig. 3) è maggiore di 2,2 m. Inoltre, direttamente dalla sezione di Figura 4 si evince che la base del livello 9 è dislocata di circa 2 m e la base del livello 10 è dislocata di circa 0.4 m.

Riassumendo quanto finora esposto, nelle sezioni di cui alle Figure 3 e 4 sono registrate almeno quattro dislocazioni; di queste la più antica è di poco precedente o contemporanea a 19.100±650 anni B.P.; le rimanenti sono successive a tale data, essendo la più recente suc-

cessiva a 4.500 anni fa. Vista l'entità della dislocazione dei livelli più antichi è lecito ipotizzare che lungo le stesse faglie sia avvenuto un maggior numero di dislocazioni di quelle sopra indicate e che gli eventi osservati siano in realtà insiemi di eventi. Tuttavia, le lacune nella successione sedimentaria, legate agli eventi erosivi che hanno interessato l'area, rendono impossibile definire una scansione più dettagliata di quella proposta.

6. ANALISI PALEOSISMOLOGICHE LUNGO LA FAGLIA SAN BENEDETTO DEI MARSI - GIOIA DEI MARSI

La presenza di scarpate di faglia dovute al terremoto del 1915 (Oddone, 1915; Alfani, 1915; Serva *et al.*, 1986; Galadini *et al.*, 1995) costituisce la testimonianza più diretta dell'attività cosismica di questa faglia.

Precedenti studi paleosismologici su questa struttura sono riportati in Giraudi (1988), Brunamonte *et al.* (1991) e Michetti *et al.* (1996) di cui al paragrafo dedicato ai "lavori precedenti".

6.1 La trincea alla base del versante del Colle delle Cereze

Una trincea è stata scavata a Sud di Venere, in un sito posto a monte della Strada Circonfucense e a valle della S.S. Marsicana, in corrispondenza del km 12,700 circa (sito 2 in Fig. 1).

In tale sito è presente una scarpata di faglia in roccia assai rielaborata dalle acque del lago del Fucino, tanto da apparire attualmente interpretabile come una falesia lacustre. Questa falesia si è formata successivamente ad una piattaforma di abrasione su rocce carbonatiche presente più a monte, a sua volta modellata in concomitanza col forte aumento di livello del lago culminato attorno a circa 20.000 anni fa (Giraudi, 1988).

6.1.1 Stratigrafia

La trincea ha posto in luce una successione di sedimenti lacustri-litorali e detritico-colluviali dislocati da una serie di faglie. La successione stratigrafica, relativa ai sedimenti al di sopra del substrato carbonatico, è costituita da 8 distinti corpi sedimentari affioranti, per lo più, nella porzione ribassata dalle faglie (Figg. 5 e 6).

Il deposito 1 è costituito da ghiaie in matrice sabbiosa di facies lacustre; è conservato solamente in una piccola porzione dell'affioramento riportato in Figura 5.

Il deposito 2 è composto anch'esso da ghiaie sabbiose di origine lacustre, diverse per granulometria e colore rispetto a quelle che costituiscono il deposito 1; affiora solamente tra le faglie "A" e "C".

Il deposito 3 appare piuttosto simile al 2; tuttavia, la maggiore presenza di matrice suggerisce che esso si sia formato, probabilmente, per il rimaneggiamento di tipo colluviale delle ghiaie sabbiose del livello 2.

Il deposito 4 è costituito ancora da ghiaie sabbiose con abbondante matrice limosa giallastra, di probabile origine colluviale. Nei depositi 1, 2, 3 e 4, a causa dell'intensa deformazione, non è evidente alcuna stratificazione.

Il deposito 5 è costituito prevalentemente da sabbia

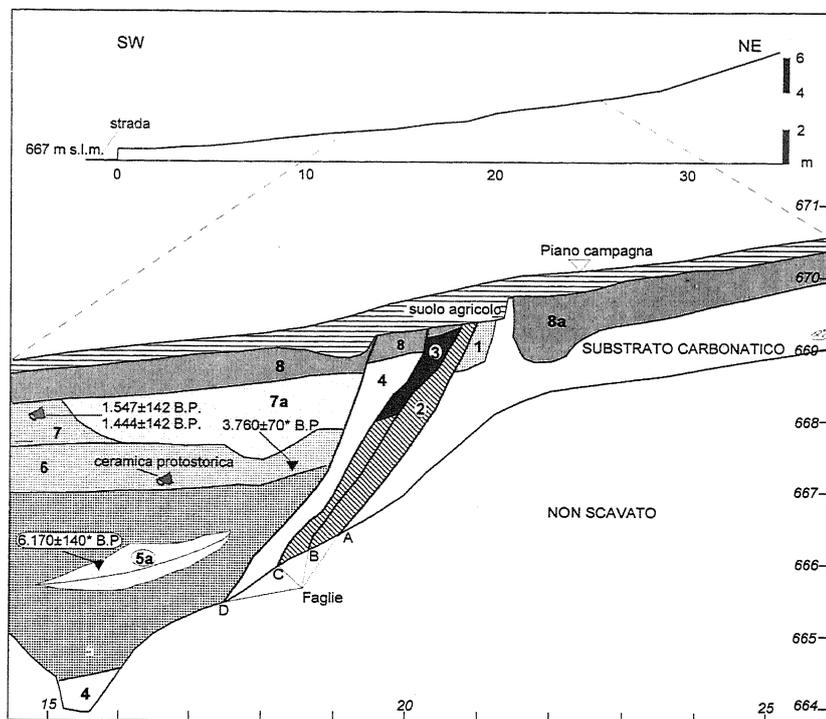


Fig. 5 - Sezione geologica della parete N della trincea realizzata alla base del versante di Colle delle Cerese, in corrispondenza della faglia San Benedetto dei Marsi-Gioia dei Marsi (sito 2 in Fig. 1). Legenda: 1 = ghiaie con matrice sabbiosa (facies lacustre); 2 = ghiaie con matrice sabbiosa (facies lacustre; differente da 1); 3 = sabbie con ciottoli (probabilmente colluvio dei sedimenti 2); 4 = ghiaie con abbondante matrice sabbiosa giallastra, probabilmente di origine colluviale; 5 = sabbie con ciottoli (facies lacustre) e ghiaie sabbiose; 5a = sabbie limose di colore marrone scuro; 6 = limi organici di colore nero con ciottoli sparsi; 7 = limi organici di colore nero con rari ciottoli (contenenti frammenti ceramici di età storica, riferibili al II secolo d.C. in base ad analisi archeologica, al V-VI secolo d.C. in base a datazione assoluta ottenuta col metodo della termoluminescenza); 7a = ciottoli sub-arrotondati in scarsa matrice limosa di colore nero; 8 = ghiaie in matrice sabbiosa (facies lacustre; il deposito rappresenta l'attività deposizionale del

lago durante gli ultimi due o tre secoli). Le date con l'asterisco sono state ottenute mediante l'utilizzo del metodo del radio-carbonio, le altre sono il risultato di datazioni assolute col metodo della termoluminescenza. In questa sezione sono stati riconosciuti tre eventi di dislocazione negli ultimi 6.170 ± 140 anni B.P. (età ^{14}C ; $7.167-6.495$ età ^{14}C cal.). Di questi, il più recente è riferibile al terremoto del 1915; quello di età intermedia è successivo al II secolo d.C.

Geological section of the northern wall of the trench excavated at the foot of Colle delle Cerese, across the San Benedetto dei Marsi-Gioia dei Marsi fault (site 2 in fig. 1). Legend: 1 = lacustrine gravels in a sandy matrix; 2 = lacustrine gravels in a sandy matrix; 3 = sands with pebbles (probably colluvium of unit 2); 4 = gravels in an abundant yellowish sandy matrix, probably of colluvial origin; 5 = lacustrine sands with pebbles and sandy gravels; 5a = dark-brown silty sands; 6 = blackish organic silts with sparse pebbles; 7 = blackish organic silts with sparse pebbles (containing pottery fragments of historic age: 2nd century A.D. as based on archaeological analysis, 5th-6th century A.D. as based on thermoluminescence analysis); 7a = sub-rounded pebbles in a scarce blackish silty matrix; 8 = lacustrine gravels in a sandy matrix (this level represents the lacustrine deposition of the last two or three centuries). Radiocarbon dates are marked with an asterisk whereas the other dates were obtained using the thermoluminescence method. At least three displacement events affected the sedimentary sequence in the last 6170 ± 140 B.P. years (^{14}C age; $7167-6495$ calibrated ^{14}C age). The last two are the 1915 event and a post 2nd century event.

con ciottoli e ghiaia, sia grossolana che minuta, in matrice sabbiosa. Questi sedimenti, di origine prevalentemente lacustre, inglobano una tasca di sabbia limosa scura (5a) la cui base mostra un'inclinazione di circa 20° verso il centro della piana. Un campione di questa sabbia limosa ha fornito un'età pari a 6.170 ± 140 anni B.P. (età ^{14}C ; $7.167-6.495$ età ^{14}C cal.; campione BO387).

Il deposito 6 è costituito da limi organici nerastri con rari ciottoli e contiene frammenti fluitati di ceramica d'impasto protostorica. Una datazione sui limi organici colluviali ha fornito un'età pari a 3.760 ± 70 anni B.P. (età ^{14}C ; $4.153-3.807$ età ^{14}C cal.; campione UD440).

Nel deposito 7 possono essere distinti due corpi. Il primo, formato da limi organici nerastri con rari ciottoli, contiene frammenti di ceramica fluitata. Alcuni di tali frammenti sono riferibili al I-II secolo d.C. (D'Ercole, com. pers.). Datazioni col metodo della termoluminescenza, effettuate presso l'Università di Milano, su due frammenti di ceramica hanno fornito età pari a 1.444 ± 142 anni B.P. (550 ± 142 d.C.) e 1.547 ± 142 anni B.P. (447 ± 142 d.C.). Il secondo corpo (7a) è costituito da ciottoli poco arrotondati, in scarsissima matrice limosa nerastra presenti tra il deposito 7 e le faglie.

Il deposito 8 è formato da ghiaie sia grossolane che minute, in matrice sabbiosa, di origine prevalentemente

lacustre. Questi sedimenti costituiscono l'ultimo episodio deposizionale del lago del Fucino. Se si considera che negli ultimi secoli il livello del lago superò in vari momenti la quota a cui le suddette ghiaie sono state rinvenute (si veda ad es. Giraudi, 1990) la loro sedimentazione deve essere riferita agli ultimi 2-3 secoli precedenti alla bonifica del lago.

Ghiaie attribuibili al deposito 8 affiorano anche nella porzione di trincea posta a monte delle faglie (8a), all'interno di una incisione che interessa i calcari.

Al tetto della serie sedimentaria è presente un suolo agrario di composizione piuttosto variabile in funzione dei sedimenti sui quali si sviluppa: tale suolo appare ispessito in corrispondenza della porzione ribassata dalle faglie.

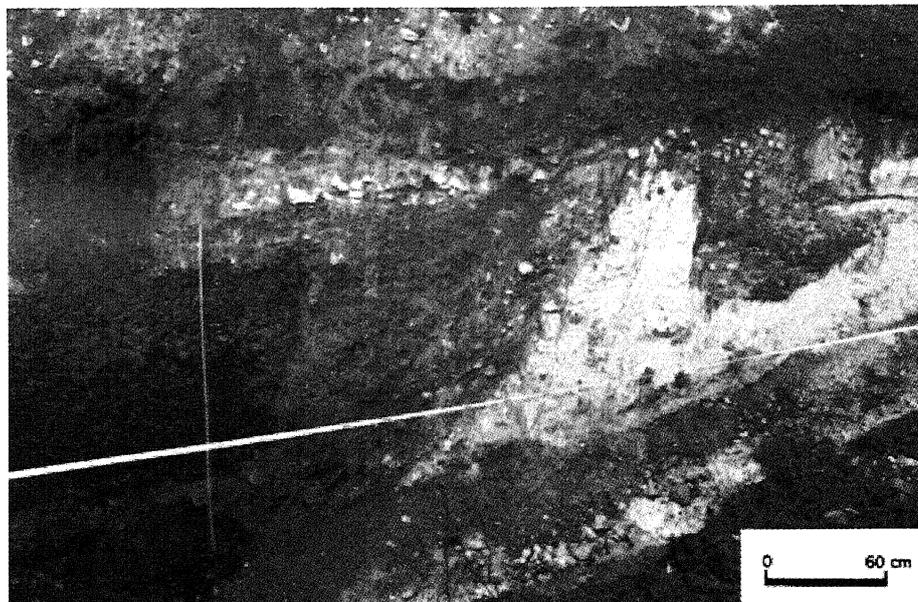
6.1.2 Tettonica

I sedimenti descritti sono interessati da quattro faglie, con direzione circa $N50^\circ W$ e immersione verso SW con pendenza variabile da $55^\circ-60^\circ$ a 75° . Le faglie, evidenziate dalle lettere A, B, C e D in Figura 5, interessano un settore dell'affioramento di larghezza pari a circa 1.5 m.

I depositi più recenti appaiono nettamente meno

Fig. 6 - Particolare della parete N della trincea alla base del Colle delle Cerese durante la fase di scavo. Sono visibili i contatti per faglia tra il substrato carbonatico e la ghiaia con matrice sabbiosa (livelli 2, 3, 4 in Fig. 5) e tra questa e il livello di ciottoli in matrice limosa nera (livello 7a in Fig. 5).

View of the northern wall of the Colle delle Cerese trench during the excavation. Faults can be seen which put the carbonate substratum in contact with the gravels (levels 2, 3 and 4 in Fig. 5) and the gravels with the pebble levels containing the blackish silty matrix (7a of Fig. 5).



dislocati di quelli più antichi. Tuttavia, poiché i sedimenti sono conservati soltanto nella porzione a valle, ribassata dalla faglia, non è possibile valutare esattamente l'entità delle dislocazioni e scandire tutte le fasi di movimento.

La riattivazione delle faglie deve essere avvenuta successivamente agli ultimi eventi deposizionali (immediatamente precedenti alla bonifica ottocentesca), quindi in occasione del terremoto del 1915. Il rigetto complessivo minimo attribuibile a tale evento è valutabile in circa 60-70 cm.

Per ciò che concerne i livelli colluviali 7, contenenti frammenti fluitati di ceramica romana, va osservato che essi sono a contatto con la faglia posta più a Sud tra quelle riportate in Figura 5. La base di questi livelli appare dislocata, in corrispondenza della faglia, di almeno 90 cm. I sedimenti hanno perciò subito, posteriormente al II secolo d.C., almeno una dislocazione precedente a quella prodotta dal terremoto del 1915.

Il rigetto che interessa i sedimenti più antichi (es. più di 3.8 m è il rigetto della base del livello 5) fa ritenere che altri eventi di dislocazione abbiano interessato i sedimenti in esame tra la sedimentazione del deposito 4 e l'evento successivo al livello 7.

Riassumendo, nella trincea in esame sono stati riconosciuti un evento di dislocazione riferibile al terremoto del 1915 ed uno successivo al II secolo d.C. (successivo a 1.444 ± 142 anni B.P. se si considera la datazione col metodo della termoluminescenza). Altri eventi interessano la sezione esaminata in età sia precedente che successiva a 6.170 ± 140 anni B.P. (età ^{14}C ; $7.167-6.495$ età ^{14}C cal.).

6.2 La cava alla base del versante del Colle delle Cerese

Qualche decina di metri a Nord del sito descritto in precedenza, in corrispondenza di una cava abbandonata (sito 3 in Fig. 1), uno dei rami della faglia San Benedetto dei Marsi-Gioia dei Marsi pone a contatto i calcari mesozoici con i sedimenti olocenici descritti di

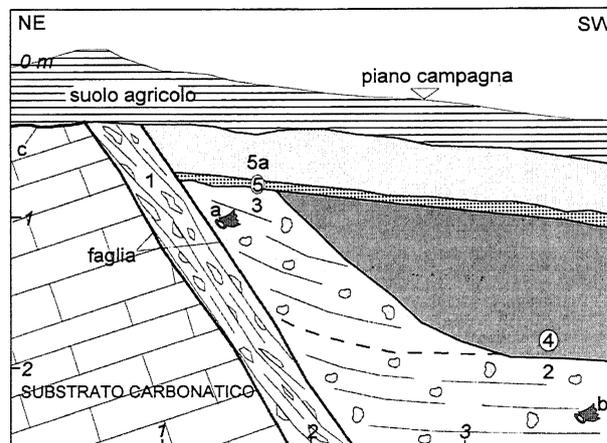


Fig. 7 - Sezione geologica dell'affioramento studiato in una cava alla base del versante di Colle delle Cerese (sito 3 in Fig. 1). Legenda: 1 = sedimenti sabbioso-ghiaiosi; 2 = limi organici nerastri con rari ciottoli, contenenti frammenti fluitati di ceramica protostorica; 3 = limi organici nerastri con rari ciottoli, contenenti frammenti di ceramica romana fluitata; 4 = ghiaie con ciottoli poco arrotondati in scarsa matrice limosa di colore nerastro; 5 = sabbie; 5a = ghiaie e ghiaie fini sabbiose; a, b = frammenti di ceramica; c = superficie di abrasione lacustre. In questa sezione sono state individuate le tracce di tre eventi di dislocazione. Di questi il più recente è riferibile al 1915; quello precedente ad un periodo post-romano; quello più antico ha un'età successiva a 3.760 ± 70 anni B.P. (età ^{14}C ; $4.153-3.807$ età ^{14}C cal.) e precedente al periodo post-romano.

Geological section of an exposure in a quarry located at the foot of Colle delle Cerese (site 3 in Fig. 1). The deposits are displaced by the San Benedetto dei Marsi-Gioia dei Marsi fault. Legend: 1 = sandy and gravelly deposits; 2 = blackish organic silts with sparse pebbles and containing pre-historic pottery fragments; 3 = blackish organic silts with sparse pebbles and containing Roman-age pottery fragments; 4 = gravels (sub-rounded pebbles) in a sparse, blackish, silty matrix; 5 = sands; 5a = gravels and fine sandy gravels; a, b = pottery fragments; c = lacustrine wave-cut terrace. Three events have been detected in this exposure, the last being related to the 1915 earthquake. The others occurred after the Roman Period and after 3760 ± 70 B.P. (^{14}C age; $4143-3807$ ^{14}C calibrated age).

seguito (Fig. 7). L'affioramento, non molto esteso al momento del rinvenimento, appare ora totalmente coperto da materiali di riporto.

6.2.1 Stratigrafia

In Figura 7, il deposito più antico (1) è costituito da sedimenti ghiaioso-sabbiosi di origine lacustre che presentano una strutturazione chiaramente legata al movimento dei piani di taglio che lo delimitano.

Un altro deposito (2) è rappresentato da limi organici nerastri con rari ciottoli contenenti frammenti fluitati di ceramica d'impasto protostorica; questi sedimenti sono analoghi a quelli che nella vicina trincea contengono la data di 3.760 ± 70 anni B.P. (età ^{14}C ; 4.153-3.807 età ^{14}C cal.).

Un'ulteriore deposito è suddivisibile in due distinti corpi sedimentari. Il primo (3), formato da limi organici nerastri con rari ciottoli, contiene frammenti di ceramica romana fluitata. Il secondo corpo è costituito da ciottoli poco arrotondati, in scarsissima matrice limosa nerastra (4).

L'ultimo deposito è formato da sabbie (5), ghiaie e ghiaia fine sabbiosa (5a) di origine prevalentemente lacustre sedimentatisi, analogamente al livello più recente descritto per la sezione precedente, negli ultimi secoli prima della bonifica ottocentesca. La serie stratigrafica appare perciò assai simile a quella rilevata nella trincea di cui al precedente paragrafo.

6.2.2 Tettonica

Per quanto riguarda le deformazioni, i sedimenti 2-3 sono chiaramente trascinati verso l'alto dal movimento della struttura. Su di essi sono discordanti i sedimenti 5 che pure sono tagliati dalla faglia.

Complessivamente sono evidenti almeno tre eventi di dislocazione. Di questi: il più recente, in quanto posteriore alle ultime fasi deposizionali, è riferibile al 1915; quello precedente è successivo al II secolo d.C.; il più antico è testimoniato dall'elevata entità della dislocazione che interessa i sedimenti 2 (almeno 2 m); l'età di questo evento potrebbe essere successiva a 3.760 ± 70 anni B.P. (età ^{14}C ; 4.153-3.807 età ^{14}C cal.) e precedente al periodo post-romano.

Per ciò che concerne le entità delle dislocazioni, la base del deposito 3, contenente frammenti di ceramica di età romana, appare dislocata di almeno 1,2 m; la base del deposito lacustre 5, la cui sedimentazione è riferibile alle ultime fasi deposizionali del lago, appare dislocata di almeno 30 cm.

6.3 La trincea di Molini di Venere

In prossimità della località Molini di Venere (sito 4 in Fig. 1), nell'area compresa tra la Strada Circonfucense ed il Canale Allacciante Meridionale è stato realizzato lo scavo di una trincea con direzione all'incirca N-S.

In questa zona si sarebbero verificate, secondo Oddone (1915) e Alfani (1915) dislocazioni superficiali in occasione del terremoto del 1915. Nel luogo ove è stato eseguito lo scavo è ancora osservabile un blando cambiamento di pendenza che interrompe la planarità del piano di campagna. Questo cambiamento di pendenza è

stato interpretato come la traccia della scarpata prodottasi nel 1915, ora fortemente arretrata, quasi obliterata dall'intensa attività agricola (Fig. 8).

6.3.1 Stratigrafia

I sedimenti più antichi messi in evidenza dalla trincea (Fig. 8) sono rappresentati da limi argillosi grigio-bluastri (A in Fig. 8) contenenti, nella parte rialzata dalla faglia, un livello di limi sabbiosi (B) che ha subito liquefazione nel corso di uno dei terremoti che ha interessato l'area. I suddetti sedimenti mostrano, nella parte alta, un colore giallastro. Essi, come verrà osservato nel paragrafo dedicato all'inquadramento stratigrafico dei settori centrale ed occidentale del Fucino, costituiscono un orizzonte di riferimento inequivocabile in tutto il bacino. Il colore giallastro è assai probabilmente legato a processi di ossidazione forse connessi all'oscillazione della superficie di falda in un momento di basso stazionamento delle acque del lago.

Sempre nella porzione rialzata dalla faglia, appena al di sotto del suolo agrario, è presente un sottile livello di limo di colore più chiaro (V in Fig. 8), in parte pedogenizzato, che potrebbe essere sia intercalato che sovrapposto ai limi argillosi A. L'incerta posizione stratigrafica e lo stato di alterazione non hanno permesso di correlare il livello V con alcuno degli altri corpi sedimentari presenti nella trincea.

Nella porzione ribassata dalla faglia, al tetto dei limi argillosi grigio-bluastri e al di sopra di una superficie di erosione scolpita su questi limi è presente un suolo (C) la cui sostanza organica datata col metodo del ^{14}C , ha fornito un'età pari a 10.400 ± 100 anni B.P. (^{14}C ; 12.181-11.005, età ^{14}C cal.; campione UD450).

Il suolo è coperto da un livello potente pochi centimetri di limi lacustri chiari (D), ai quali si sovrappone un accumulo di limi non stratificati, che mostra di chiudersi a cuneo verso valle, di probabile origine colluviale (E).

Al di sopra, appoggiati forse su una superficie di erosione, sono presenti sedimenti limosi e limoso-sabbiosi stratificati (F) di origine lacustre, contenenti verso l'alto livelli ricchi di sostanza organica. Un campione di questi, datato col metodo del ^{14}C , ha fornito un'età pari a 7.120 ± 120 anni B.P. (^{14}C ; 7.929-7.526, età ^{14}C cal.; campione UD451).

Una nettissima superficie di erosione interessa i sedimenti descritti: su questa appoggiano limi di colore grigio scuro (G in Fig. 8; Fig. 9), organici, che presentano alla base un orizzonte formato da limo con ciottoli di dimensioni centimetriche. La sostanza organica contenuta in tali limi, datata col metodo del ^{14}C , ha fornito un'età pari a 5.340 ± 100 anni B.P. (^{14}C ; 6.198-5.723, età ^{14}C cal.; campione UD452).

Anche al tetto del descritto corpo sedimentario è presente una netta superficie di erosione, al di sopra della quale si rinviene un'alternanza di sedimenti limosi grigio chiari, di origine lacustre, e grigio-marroni più scuri, di origine prevalentemente colluviale (H in Fig. 8). Nella porzione meridionale della trincea, i sedimenti correlabili a quelli descritti sono rappresentati principalmente da limi di origine lacustre con intercalazioni di livelli limoso-sabbiosi e sottili orizzonti sabbioso-ghiaiosi. In

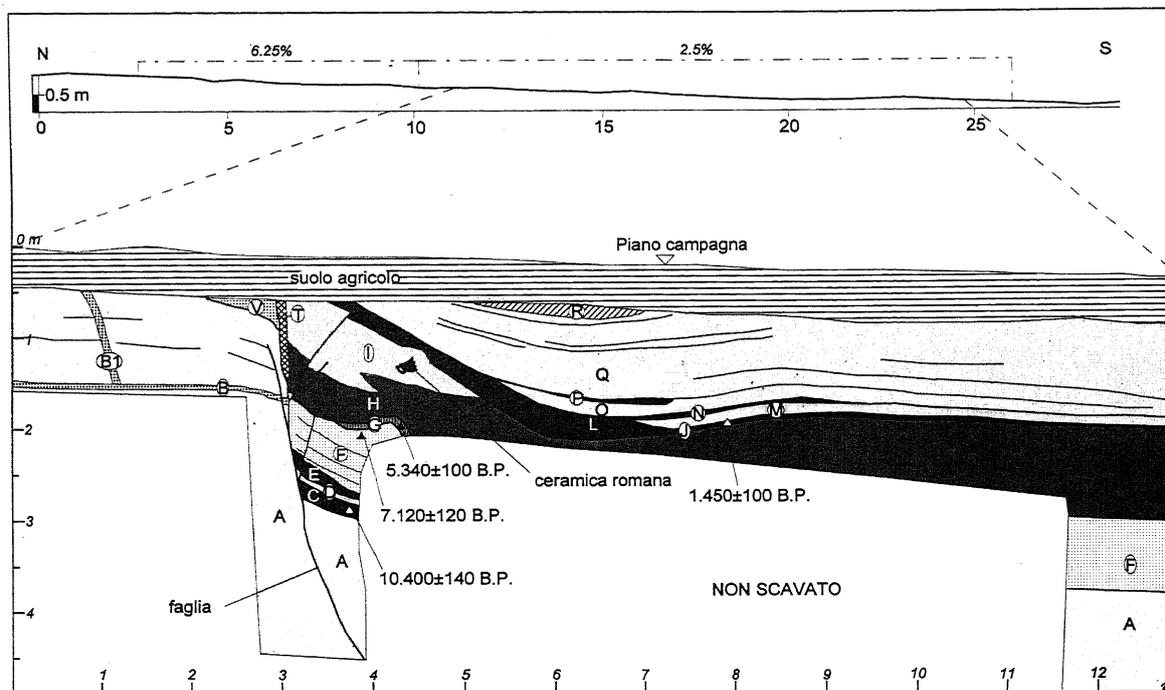


Fig. 8 - Sezione geologica della parete E della trincea realizzata a Molini di Venere, in corrispondenza della faglia San Benedetto dei Marsi-Gioia dei Marsi (sito 4 in Fig. 1). Legenda: A = limi argillosi grigio-azzurri (di colore giallastro al tetto); B = limi sabbiosi; C = paleosuolo; D = limi grigio-chiari; E = limi destrutturati (origine colluviale); F = limi e limi sabbiosi ben stratificati (nella parte alta è presente un alto contenuto in materia organica); G = limi grigio-scuri (alla base è presente un sottile livello di limo con rari ciottoli di piccole dimensioni); H = alternanze di limi grigio-chiari e di limi grigio-marroni (questi ultimi di origine colluviale; nella parte meridionale della trincea sono presenti limi con intercalazioni sabbioso-limose e sabbioso-ghiaiose); I = limi di origine colluviale (frammenti di ceramica romana sono contenuti nella parte superiore); J = torba; L = limi di origine colluviale; M = limi; N = torba; O = limi; P = limi di origine colluviale; Q = limi grigio-marroni (parte inferiore) e limi sabbiosi grigio-chiari (parte superiore); R = livello pedogenetico (probabilmente suolo agrario precedente al 1915); T = sedimenti di riempimento della frattura; V = limi grigio-chiari (parzialmente pedogenizzati). In questa sezione sono stati riconosciuti quattro eventi successivi a 10.400±100 anni B.P. (^{14}C ; 12.181-11.005 età ^{14}C cal.). Di questi, l'ultimo è riferibile al 1915; il terzo è di età post-romana; il secondo è di età più recente di 7.120±120 anni B.P. (^{14}C ; 7.929-7.526 età ^{14}C cal.); il più antico ha età compresa tra 10.400±100 anni B.P. e 7.120±120 anni B.P.

Geological section of the eastern wall of the Molini di Venere trench, across the S. Benedetto-Gioia dei Marsi fault (site 4 in Fig. 1). Legend: A = greyish-blue to yellowish (at the top) clayey silts; B = sandy silts; C = paleosol; D = light-grey lacustrine silts; E = unstructured colluvial silts; F = well-stratified lacustrine silts and sandy silts (the upper part is characterized by high organic-matter contents); G = dark-grey silts (a thin silt level with sparse small pebbles is present at the base); H = alternating light-grey lacustrine silts and brownish-grey colluvial silts (in the southern part of the trench lacustrine silts are present with interbeds of sandy-silts and sandy-gravels); I = colluvial silts (Roman pottery fragments are contained in the upper part); J = peat; L = colluvial silts; M = lacustrine silts; N = peat; O = lacustrine silts; P = colluvial silts; Q = brownish-grey lacustrine silts (lower part) and light-grey sandy silts (upper part); R = pedogenic level (probably ploughed soil before 1915); T = fracture-filling sediments; V = light-grey silts (with traces of partial pedogenesis). The paleoseismological analysis determined that four displacement events occurred after 10,400±100 B.P. (^{14}C age; 12,181-11,005 ^{14}C calibrated age). The last is related to the 1915 event, the third has a post-Roman age, the second has an age more recent than 7120±120 B.P. (^{14}C age; 7929-7526 ^{14}C calibrated age) and the first has an age between 10,400±100 B.P. and 7120±120 B.P.

base ai rapporti coi sedimenti sottostanti e soprastanti, il livello H dovrebbe essere sensibilmente più recente di circa 5.000 anni fa e più antico della bonifica romana.

In parziale eteropia con il tetto dei sedimenti H è poi presente un accumulo costituito prevalentemente da limi di origine colluviale (I in Fig. 8) contenente, nella parte alta, frammenti fluitati di ceramica romana. La sedimentazione dei limi I dovrebbe essere avvenuta prevalentemente durante e in parte successivamente alle fasi della bonifica romana.

Una netta superficie di erosione è presente al tetto dei sedimenti descritti. Su questa appoggiano torbe (J) che hanno fornito un'età pari a 1.450±100 anni B.P. (^{14}C ; 1.524-1.168 età ^{14}C cal.; campione UD449). Le torbe sono coperte da limi colluviali (L) eteropici con limi lacustri (M), coperti a loro volta da un sottilissimo e discontinuo livello di torba (N). Su quest'ultimo è presente un livello di limi lacustri (O) e, sopra questi, un livellet-

to discontinuo di origine colluviale (P). Il tetto di questi colluvi ed i sedimenti O ed L appaiono interessati da una superficie di erosione sulla quale appoggiano limi lacustri grigio-marroni e poi limi sabbiosi grigio chiari (Q), di origine lacustre. Questi ultimi costituiscono il prodotto delle più recenti fasi deposizionali del lago del Fucino precedenti al definitivo prosciugamento ottocentesco.

Chiude la serie, appena al di sotto del suolo agrario attuale, un livello pedogenizzato di colore marrone (R), che rappresenta parte del suolo agrario posteriore alla bonifica ottocentesca del lago.

6.3.2 Tettonica

Prima di affrontare l'esame delle deformazioni presenti appare necessario considerare che la trincea è ubicata in una zona che, precedentemente al definitivo prosciugamento del lago del Fucino, era periodicamente

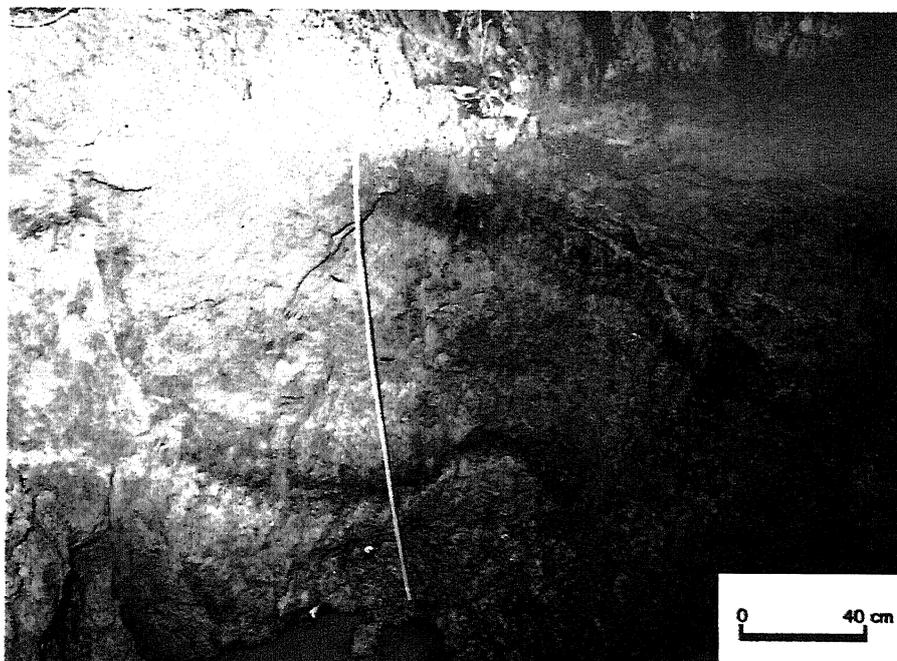


Fig. 9 - Particolare della parete E della trincea in prossimità di Molini di Venere (sito 4 in Fig. 1) durante una fase dello scavo. E' visibile il contatto per faglia tra i sedimenti argillosi giallastri (A in Fig. 8) e la successione olocenica di sedimenti lacustri e colluviali. In particolare è possibile notare la curvatura del livello di limi grigio-scuri (G in Fig. 8) e la forte inclinazione (verso la destra dell'osservatore) del livello di limi colluviali (L in Fig. 8).

Detail of the eastern wall of the Molini di Venere trench (site 4 in Fig. 1). The fault put the yellowish clays (A in Fig. 8) in contact with the Holocene lacustrine-colluvial succession. Note the warping of the dark-grey silts (G in Fig. 8) and the steep dip (towards the right) of the colluvial silt level (L in Fig. 8).

soggetta ad allagamenti ed emersioni (Giraudi, 1988). Potrebbe bastare tale situazione per giustificare il numero degli eventi erosivi registrati all'interno della successione stratigrafica sopra delineata. In un ambiente con queste caratteristiche, gli accumuli colluviali presenti a ridosso del piano di faglia possono avere un'origine indipendente dall'attività della faglia stessa. In sostanza, potrebbero non necessariamente essere il risultato dello smantellamento di scarpate cosismiche. Una loro origine connessa alla presenza di una sponda lacustre potrebbe essere evidenziata dal fatto che spesso su questi colluvi si sono sedimentati depositi francamente lacustri o torbe (a testimonianza di episodi ingressivi). La stessa giacitura dei sedimenti precedentemente descritti (vedi anche Fig. 9) potrebbe non essere il risultato di deformazioni cosismiche, ma avere un carattere primario, riferibile ad una sedimentazione condizionata da caratteristiche morfologiche pregresse.

Quanto detto aumenta la difficoltà della definizione di un'attendibile successione di eventi deformativi, tenendo conto, oltre tutto, che nella porzione rialzata dalla faglia non sono presenti, ad eccezione di A, sedimenti messi in evidenza nella porzione ribassata.

Il piano di faglia, osservabile per un'altezza di circa 4,5 m, è subverticale per i primi tre metri ma assume inclinazione di circa 65°-70° a profondità maggiori (Figg. 8 e 9).

Oltre alla faglia principale, che ribassa il settore meridionale, sono presenti strutture, che da essa si diramano, con rigetti centimetrici.

E' possibile valutare l'entità delle dislocazioni relative di alcuni corpi sedimentari che sono direttamente a contatto col piano di faglia senza scandire le fasi di movimento; il tetto dei sedimenti A ed il suolo C appaiono dislocati di almeno 2 m: i valori si riducono per i sedimenti successivi. La base dei sedimenti I, il più recente corpo sedimentario che appoggia contro il piano di faglia, appare dislocata di più di 50 cm.

Nonostante le condizioni che ostacolano l'interpretazione paleosismologica della sezione, un aiuto alla definizione della scansione dei diversi movimenti viene dalle

strutture minori che si diramano dal piano di faglia principale. Alla faglia che interessa i sedimenti C, D, E, F e che si interrompe alla base di H, è riferibile il movimento precedentemente al modellamento della superficie di erosione su cui i sedimenti H appoggiano: deve quindi essersi attivata, in un momento sicuramente più recente di 7.120±120 anni B.P. (¹⁴C; 7.929-7.526, età ¹⁴C cal.) e forse più recente di 5.340±100 anni B.P. (¹⁴C; 6.198-5.723, età ¹⁴C cal.). La faglia che interessa i sedimenti H, I, L deve essere stata attiva in un momento di poco successivo a 1.450±100 anni B.P. (¹⁴C; 1.524-1.168 età ¹⁴C cal.) e precedente alla deposizione dei sedimenti lacustri Q.

Inoltre, è sicuramente almeno in parte riferibile a deformazione cosismica la giacitura dei livelli da J a Q nella porzione centrale della sezione di Figura 8. E' possibile notare che, nella parte meridionale della sezione, i sedimenti sono leggermente inclinati verso S, ovvero verso il centro del bacino, come generalmente avviene per depositi lacustri non deformati. Al contrario, nella porzione centrale della sezione, i sedimenti sono caratterizzati, per un tratto, da una blanda pendenza verso la sponda del lago; ancora più a Nord, l'immersione torna ad essere verso il centro della Piana. In sostanza, l'andamento della stratificazione dà luogo ad una piega piuttosto evidente. Tutti i sedimenti da J a R sono caratterizzati, in maniera molto netta, dall'assetto strutturale di cui sopra. All'interno di questa successione, del primo evento deformativo, occorso durante la deposizione del livello L, si è già fatto cenno in precedenza. Successivamente a questo, un'ulteriore deformazione deve avere interessato i sedimenti depositi successivamente ad L, coinvolti nella struttura plicativa⁽³⁾: il livello R (suolo agrario precedente al 1915), ad esempio, è ribassato esatta-

(3) Della anomala giacitura dei livelli lacustri, peraltro mai osservata in aree non adiacenti a faglie, si tratterà più estesamente nei paragrafi dedicati alle sezioni analizzate lungo la faglia di Trasacco.

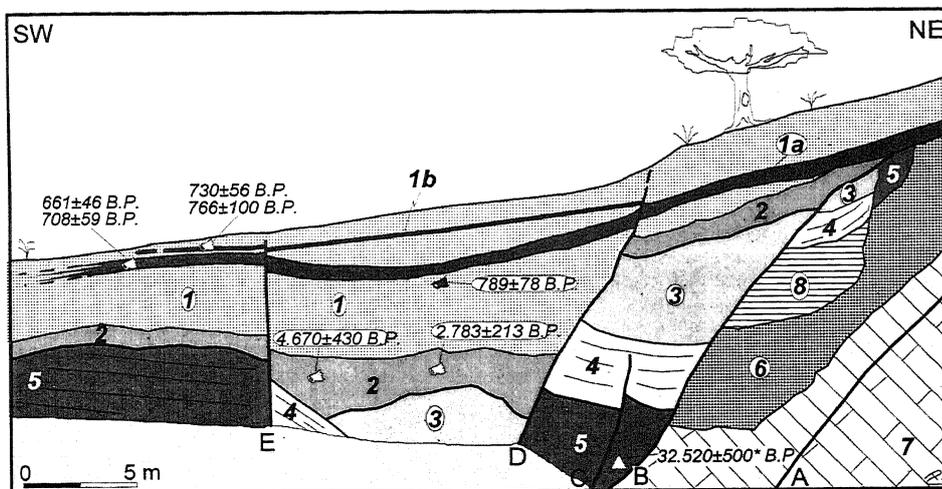


Fig. 10 - Sezione geologica della parete NW dello scavo di Casali d'Aschi (sito 5 in fig. 1). Legenda: 1, 2, 3, 4, 5, livelli componenti la serie dei depositi detritico-colluviali; 6, brecce calcaree con matrice chiara; 7, substrato carbonatico mesozoico; 8, porzione non affiorante; A, B, C, D, E, faglie. La datazione 32.520 ± 500 anni B.P. è stata ottenuta mediante l'utilizzo del metodo del radiocarbonio sulla matrice del livello detritico 5; le altre datazioni sono state ottenute mediante l'utilizzo del metodo della termoluminescenza su frammenti ceramici. In questa sezione sono stati riconosciuti sette eventi di dislocazione successivi a 32.520 ± 500 anni B.P. (^{14}C), di cui tre successivi a 2.783 ± 213 anni B.P.

mente al centro della struttura piegata. Tenendo conto che in origine il suolo agrario doveva essere caratterizzato da spessore costante, se ne desume che la sua attuale giacitura è il risultato dell'evento deformativo, legato al terremoto del 1915, che ha interessato la successione da N ad R.

Considerando che il livello R non è presente nella porzione rialzata dalla faglia, essendo probabilmente compreso nel suolo agrario attuale, la dislocazione minima riferibile al 1915 è dell'ordine di grandezza di alcune decine di centimetri.

Un altro possibile indizio di movimento della faglia può essere individuato nel livello colluviale E di Figura 8. Come affermato in precedenza, i livelli colluviali presenti nella sezione possono avere origine indipendente dall'attività della faglia e perciò non costituiscono necessariamente degli effetti delle dislocazioni cosismiche. Tuttavia l'orizzonte E, al contrario dei livelli H, I, L, P⁽⁴⁾, appare intercalato tra ben definiti livelli sedimentari lacustri. Questa osservazione, se unita a quella riportata nella nota 4, indica che il livello colluviale E probabilmente non è legato a variazioni di livello del lago, e come conseguenza a cambiamenti nel tipo di sedimentazione nell'area interessata dalla trincea, bensì a rideposizione di sedimenti erosi da una scarpata precedentemente formatasi in ambiente subacqueo. L'alternativa a questa ipotesi, rappresentata da una fase colluviale successiva alla regressione del lago, appare improbabile anche a causa dell'assenza di tracce di pedogenesi all'interno del livello E. Il movimento della faglia cui è riferibile la formazione della scarpata responsabile del colluvio E sarebbe data-

(4) I livelli H, I, L, P, episodi colluviali che si sono succeduti uno all'altro, rappresentano, assai probabilmente, una fase sedimentaria caratteristica legata all'evoluzione della sponda del lago.

Geological section of the NW wall of a quarry in Casali d'Aschi (site 5 in Fig. 1). Legend: 1, 2, 3, 4, 5 = succession of colluvial and debris deposits (a ^{14}C age was obtained for level 5); 6 = calcareous breccias having a whitish matrix; 7 = Mesozoic carbonate bedrock; 8 = no-exposure; A, B, C, D, E = faults. In level 2 pottery fragments of the Neolithic age (4670 ± 430 years B.P., using thermoluminescence) and of the Middle Bronze Age (based on the thermoluminescence method) were sampled. In levels 1a and 1b pottery fragments of the 13th century A.D. (1287 ± 67 , 1334 ± 46 A.D. and 1264 ± 56 , 1228 ± 100 A.D. respectively; dated by means of thermoluminescence) were sampled. In this section 7 displacement events were detected after $32,500 \pm 500$ B.P., of which three occurred after 2783 ± 213 B.P.

bile ad un momento un pò più recente di 10.400 ± 140 anni B.P. (^{14}C ; $12.181-11.005$ età ^{14}C cal.) e sensibilmente più antico di 7.120 ± 120 anni B.P. (^{14}C ; $7.929-7.526$ età ^{14}C cal.).

Riassumendo, nella sezione esaminata sono individuabili almeno 4 eventi. Di questi, al più antico è riferibile un'età compresa tra 10.400 ± 100 anni B.P. e 7.120 ± 120 anni B.P. L'evento è probabilmente più prossimo alla prima che alla seconda data. Il secondo avrebbe un'età più recente di 7.120 ± 120 anni B.P. e forse più recente di 5.340 ± 100 anni B.P. (^{14}C ; $6.198-5.723$ età ^{14}C cal.), ma più antica dell'età dei sedimenti su cui è stata impostata la bonifica romana. Gli ultimi due rappresentano invece gli unici eventi di età post-romana. Di questi, l'ultimo evento di dislocazione è riferibile al 1915.

6.4 Il sito di Casali d'Aschi

In corrispondenza dell'abitato di Casali d'Aschi, alla base del versante che limita la porzione orientale della Piana del Fucino (sito 5 in Fig.1) uno scavo recente, attualmente in fase di forte degradazione, ha messo in luce una successione prevalentemente detritica dislocata da una serie di faglie (Figg. 10 e 11).

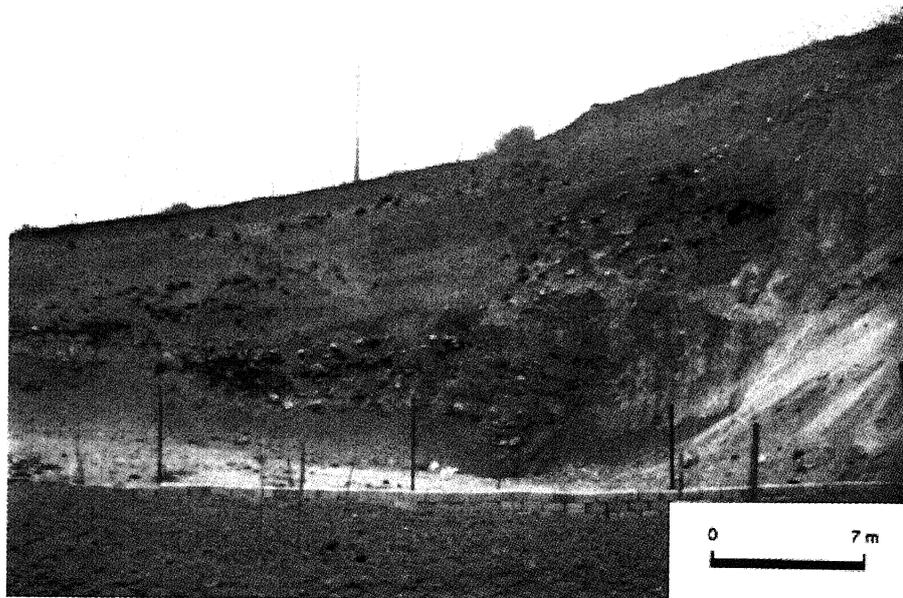
6.4.1 Stratigrafia

I sedimenti di origine detritica, che coprono brecce cementate, sono stati distinti in cinque unità, talora separate da superfici di erosione.

L'unità più antica (5 in Fig. 10) è suddivisibile in tre differenti porzioni. In quella inferiore i detriti appaiono mal stratificati e formati da grossi blocchi calcarei in matrice terrosa. Sono altresì presenti sottili intercalazioni fini colluviali di colore grigio-nerastro. Lo spessore massimo visibile di questa porzione dell'unità 5 è dell'ordine di 4 m. Una datazione effettuata su materiali prelevati da

Fig. 11 - Panoramica sulla parete NW dello scavo di Casali d'Aschi (sito 5 in Fig. 1).

View of the NW wall of the Casali d'Aschi outcrop (loc. 5 in Fig. 1).



uno dei suddetti livelli colluviali ha fornito un'età pari a 32.520 ± 500 anni B.P. (datazione ^{14}C ; campione BO354). La porzione intermedia è formata da detrito più fine con scarsa matrice, piuttosto ben stratificato, con uno spessore massimo di poco superiore al metro. La porzione superiore appare piuttosto simile a quella inferiore come litologia, tuttavia è meglio stratificata e potente più di un metro. L'unità 5 presenta al tetto una evidente superficie di erosione, risultato di un'attività erosiva che ha comportato l'asportazione delle porzioni intermedia e superiore nel settore a quota più elevata e più nordoccidentale dell'affioramento analizzato (Fig. 10). Questa superficie di erosione interessa anche le brecce cementate (6 in Fig. 10) e, al di fuori della parte di affioramento rappresentata in Figura 10, le rocce carbonatiche che costituiscono il versante. Essa è interpretabile come una piattaforma di abrasione lacustre legata allo stazionamento a livelli molto alti delle acque del Lago del Fucino nel periodo appena precedente a circa 20.000 anni B.P. (Giraudi, 1988). La verosimiglianza di questa ipotesi è avvalorata dalla correlazione altimetrica di questa superficie con altri lembi di piattaforme di abrasione lacustri (coperte da coltri detritico-colluviali) presenti poco a W alla base dello stesso versante⁽⁵⁾.

L'unità 4 (Fig. 10) è costituita da detrito prevalentemente fine (con clasti di diametro centimetrico), molto ben stratificato, che raggiunge uno spessore massimo di circa 3 m; i sedimenti hanno aspetto analogo a quello dei detriti affioranti poco ad Ovest di Casali d'Aschi, databili al periodo compreso tra circa 20.000 anni fa e l'inizio dell'Olocene (Giraudi, 1995b).

L'unità 3, il cui spessore massimo affiorante raggiunge circa quattro metri, è costituita da blocchi calcarei di grandi dimensioni in scarsa matrice fine e non mostra una chiara stratificazione. Non è raro il rinvenimento, tra il detrito, di ciottoli ben arrotondati e appiattiti provenienti probabilmente dalla piattaforma di abrasione lacustre posta a monte dell'affioramento.

L'unità 2 si presenta mal stratificata, con uno spessore che può raggiungere i 2,5 - 3 metri. Essa si è sedi-

mentata al di sopra di una superficie di erosione che nettamente tronca le unità più antiche. L'unità 2 è costituita prevalentemente da blocchi calcarei di grandi dimensioni supportati da un'ingente quantità di matrice fine di colore grigio-nerastro; i sedimenti fini divengono prevalenti al tetto. Alcuni frammenti di ceramica fluitata, analizzati da V. D'Ercole (com. pers.) sono stati attribuiti al Neolitico (terminato circa 4.600-4.800 anni fa) ed alla media Età del Bronzo (databile a circa 3.200-3.700 anni fa). Dattazioni col metodo della termoluminescenza su frammenti di ceramica neolitica e dell'Età del Bronzo hanno fornito i seguenti valori: 4.670 ± 430 anni B.P. il primo, 2.783 ± 213 anni B.P. il secondo. La sedimentazione dell'unità 2 deve essere più recente di quest'ultima data.

L'unità 1 è prevalentemente un detrito calcareo costituito da clasti di dimensioni piuttosto minute e caratterizzato da abbondante matrice limoso-sabbiosa, ben stratificato. Lo spessore massimo è pari a circa 6-7 m. Intercalati al detrito si rinvengono livelli colluviali a granulometria più fine e, probabilmente, suoli poco sviluppati. La frazione detritica include anche un livello (1a) con matrice di colore grigiastro ed un livello (1b) costituito da clasti calcarei spigolosi di dimensioni maggiori di quelle dei clasti degli altri livelli. L'assenza di matrice e la totale destrutturazione del deposito rendono ipotizzabile un'origine antropica di quest'ultimo (es. accumulo di ciottoli ai margini di campi coltivati). I detriti dell'unità 1 contengono frammenti di ceramica fluitata. Alcuni di essi, raccolti nel livello 1a e datati col metodo della termoluminescenza, hanno fornito età pari a 661 ± 46 anni B.P. (1334 ± 46 d.C.) e a 708 ± 59 anni B.P. (1287 ± 59 d.C.); frammenti raccolti nel livello 1b hanno fornito età pari a 766 ± 100 anni B.P. (1228 ± 100 d.C.) e a 730 ± 56 anni B.P. (1264 ± 56 d.C.). Un altro frammento di ceramica proveniente da un livello di poco inferiore ad 1a ha fornito un'età pari a 789 ± 78 anni B.P. (1204 ± 78 d.C.).

6.4.2 Tettonica

Il versante che domina il sito in oggetto è caratterizzato dalla presenza di morfologie indiziarie di movimenti

⁽⁵⁾ L'inquadramento cronologico della sedimentazione delle coltri detritiche soprastanti alle piattaforme di abrasione è stato fornito da dati archeologici e da datazioni ^{14}C (Giraudi, 1995b).

gravitativi profondi di versante. Le deformazioni gravitative permetterebbero di chiarire il significato di alcuni dati (apparentemente anomali) derivati dall'analisi paleosismologica di questo sito, rappresentati dai rigetti assai elevati e dalla presenza di almeno un evento di dislocazione in più rispetto agli altri siti studiati.

La serie dei depositi sopra descritti è dislocata da quattro faglie con direzione NW-SE, di cui la faglia D è probabilmente, per entità dei rigetti, la più importante (Fig. 10). Da un punto di vista generale è possibile osservare che i livelli detritici più antichi presentano entità complessiva della dislocazione molto maggiore di quella riscontrata nei livelli più recenti.

L'analisi finalizzata alla definizione del numero dei movimenti registrati e al loro inquadramento cronologico, effettuato utilizzando il decremento delle entità di dislocazione dalle formazioni più antiche a quelle più recenti e considerando la diversa potenza delle formazioni nelle porzioni ribassate e rialzate dalle faglie⁽⁶⁾, ha portato alla distinzione di più eventi di dislocazione che hanno interessato i sedimenti nel corso degli ultimi 32.520 ± 500 anni.

Il più antico movimento documentabile è registrato lungo la faglia B di Figura 10. Infatti, l'«incassamento» dell'unità 4 nell'unità 5 nella parte rialzata dalla faglia presuppone un movimento della faglia successivo alla deposizione dell'unità 5 e precedente alla deposizione dell'unità 4. L'età di questo evento sarebbe compresa tra circa 32.520 ± 500 anni B.P. e l'inizio della sedimentazione dell'unità 4 (probabilmente di poco successiva a ca. 20.000 anni fa, secondo le datazioni dei detriti di Giraudi, 1995b).

Un secondo movimento deve essere avvenuto nel corso della deposizione dell'unità 4 (databile al periodo compreso tra circa 20.000 e 10.000 anni fa secondo Giraudi, 1995b). Questo evento è reso evidente dal fatto che la faglia C disloca il letto dell'unità 4 ma non il suo tetto.

Un terzo movimento è individuabile in corrispondenza della faglia E. Infatti, la porzione di unità 4 affiorante è chiaramente basculata verso NE e la superficie di erosione che separa le unità 2 e 3 è discordante sull'unità 4. Questo evento avrebbe un'età compresa tra la fine della sedimentazione dell'unità 4 (ca. 10.000 anni fa) e la sedimentazione dell'unità 2, di cui almeno una parte è avvenuta successivamente a 4.670 ± 430 anni B.P.

Un quarto movimento, testimoniato lungo le faglie B, D, E, si è verificato nel corso della deposizione dell'unità 2 (che contiene ceramiche fluite databili, le più recenti, a 3.300-3.700 anni fa con metodi archeologici, oppure a 2.783 ± 213 anni B.P. col metodo della termoluminescenza), evidenziato dall'incremento di spessore di questa nella parte ribassata compresa tra le faglie D ed E. La dislocazione verticale legata a questo evento è legger-

mente inferiore a 2 m sul piano di faglia D.

Un quinto movimento, testimoniato lungo le faglie D ed E, è posteriore al tetto dell'unità 2 e precedente la deposizione del livello 1a. Questo evento è evidenziato dalla differenza tra l'entità della dislocazione che interessa il livello 1 (circa 5 m sulla faglia D; circa 80 cm sulla faglia E) e l'entità della dislocazione che interessa il livello 1a (circa 50 cm sulla faglia D; circa 40 cm sulla faglia E). L'elevato valore della dislocazione verticale legata a questo evento (circa 4 m sul piano di faglia D) è probabilmente da riferire a componenti di movimento di tipo gravitativo.

Un sesto movimento, testimoniato lungo le faglie D, E, è contemporaneo al livello 1a che, in corrispondenza del labbro ribassato della faglia E, appare ispessito. Il livello 1a, come detto, contiene ceramica fluitata riferibile al XIV ed al XIII secolo (sulla base delle datazioni assolute ottenute col metodo della termoluminescenza) ed è più antico del livello 1b che contiene ceramica fluitata datata con lo stesso metodo al XIII secolo d.C. Sulla base delle datazioni disponibili, l'evento in questione non sarebbe più antico del XIV secolo⁽⁷⁾. L'evento a questo precedente, il quinto, probabilmente ha come limite cronologico superiore il XIII secolo ed ha come limite inferiore un momento assai più recente di 2.783 ± 213 anni B.P.

Il settimo movimento è testimoniato, almeno lungo le faglie D ed E, dalla dislocazione dei livelli sommitali della serie fino al piano campagna, più recente dei livelli con ceramica del XIII-XIV secolo. Esso, in base alle ricostruzioni dell'andamento della fagliatura di superficie in occasione del terremoto del 1915 (Serva *et al.*, 1986; Galadini *et al.*, 1995) e sulla base delle conoscenze sulla sismicità storica dell'area (Galadini *et al.*, 1995) deve essere riferito al terremoto del 1915. Nel caso della faglia E, l'entità della dislocazione è pari a poco meno di 30 cm.

6.5 Faglia San Benedetto dei Marsi - Gioia dei Marsi: dati complessivi sugli eventi di dislocazione

In base allo studio delle trincee eseguite ed all'esame degli affioramenti lungo fronti di cava, appare possibile sintetizzare la serie delle dislocazioni avvenute lungo la faglia San Benedetto dei Marsi-Gioia dei Marsi.

1 - Evento del 1915 (osservabile in tutte le trincee analizzate);

2 - Evento probabilmente databile ai secoli XIII-XIV (datazione col metodo della termoluminescenza), registrato nel solo sito di Casali d'Aschi;

3 - Evento immediatamente posteriore a 1.450 ± 100 anni B.P. (^{14}C ; 1.524-1.168 età ^{14}C cal.; osservabile in tutte le trincee analizzate);

4 - Evento contemporaneo al corpo sedimentario contenente ceramica datata a 2.783 ± 213 anni B.P. (metodo della termoluminescenza), od a 3.300-3.700 anni fa con metodi archeologici.

5 - Evento poco più recente di 10.400 ± 140 anni

⁽⁶⁾ La considerazione della diversa potenza delle formazioni detritiche in corrispondenza delle faglie come elemento diagnostico di movimento sinsedimentario è ritenuta valida a fronte dell'assenza di tracce di episodi erosivi generalizzati e di evidenze di componenti orizzontali del movimento, sia pure di piccola entità.

⁽⁷⁾ Di questo evento si tornerà a trattare nel Capitolo 10.



Fig. 12 - Frammenti di ceramica campionati nello scavo per la posa in opera dell'acquedotto poco a Sud del sito 11 della Figura 1. La ceramica è riferibile alla Media Età del Bronzo (Petitti, com. pers.).

Pottery fragments sampled in the gas-pipeline trench (south of site 11, Fig. 1). The fragments are related to the Middle Bronze Age (Petitti, pers. comm.).

B.P. (^{14}C ; 12.181-11.005 età ^{14}C cal.) e sensibilmente più antico di 7.120 ± 120 anni B.P. (^{14}C ; 7.929-7.526 età ^{14}C cal.);

6 - Evento avvenuto nel periodo 20.000-10.000 anni fa (datazione in base all'inquadramento stratigrafico);

7 - Evento occorso in un periodo compreso tra 32.520 ± 500 anni B.P. (data ^{14}C) ed un momento probabilmente di poco più recente di circa 20.000 anni fa.

Lungo la faglia San Benedetto dei Marsi-Gioia dei Marsi, si sarebbero verificati almeno 7 eventi di dislocazione nel corso degli ultimi 32.000 anni circa; di questi, 3 sono avvenuti dopo 1.450 ± 100 anni B.P. (^{14}C ; 1.524-1.168 età ^{14}C cal.), almeno 5 nel corso dell'Olocene.

7. ANALISI PALEOSISMOLOGICHE LUNGO LA FAGLIA DI TRASACCO

Una prima valutazione sulla attività recente della faglia di Trasacco è stata proposta da Giraudi (1988). L'autore ipotizza che essa sia stata caratterizzata da attività post-romana o medievale; osserva altresì che la struttura interseca il canale di bonifica romano, ricordando che "non è quindi da escludere che il canale sia stato interrotto ... dal movimento della faglia".

La descrizione dei siti, in corrispondenza dei quali sono stati effettuati gli scavi utilizzati per l'analisi paleosismologica, verrà preceduta da un inquadramento cronostatigrafico dei sedimenti lacustri tardo-pleistocenici ed olocenici interessati dalle deformazioni in seguito descritte.

7.1 Inquadramento crono-stratigrafico dei depositi lacustri recenti presenti nella porzione centro-meridionale della Piana del Fucino

E' sembrato indispensabile inserire a questo punto della trattazione l'inquadramento crono-stratigrafico dei

depositi lacustri recenti del settore centro-occidentale della Piana del Fucino, in considerazione dei problemi relativi ad alcune datazioni ^{14}C effettuate su campioni prelevati in siti prossimi alla struttura in esame. Alcune date sono risultate ben più antiche di quanto ammissibile sia in base agli schemi cronologici fondati su altre datazioni ^{14}C effettuate su campioni prelevati in altre aree, sia in base alla classificazione culturale di reperti archeologici o dei manufatti rinvenuti negli scavi. Sono state infatti ottenute datazioni vicine ai 3.000 anni fa su sostanze organiche incluse in sedimenti depositi sicuramente in età romana o post-romana, e datazioni superiori ai 10.000 anni su sostanze organiche contenute in sedimenti di età certamente inferiore ai 7.000 anni.

Probabilmente più cause concorrono a queste anomalie (per esempio il frazionamento isotopico, di cui un caso è riportato in Branca *et al.*, 1989, per la Valle di Castiglione presso Roma) ed occorrerebbero studi geochimici specifici sull'argomento perché queste siano definite completamente.

Constatata l'inattendibilità di alcune delle datazioni ^{14}C , si è presentata la necessità di ricorrere alla correlazione tra i livelli affioranti nelle trincee e negli scavi e livelli ben datati (sia col metodo del ^{14}C che tramite l'uso di materiale archeologico; Fig. 12), affioranti in aree ove non si presentano i problemi di cui sopra.

Due favorevoli circostanze — lo scavo di una trincea lunga più di 10 km e profonda fino a 3 m, realizzata per la posa in opera di un acquedotto destinato ad alimentare la zona industriale di Avezzano e la pulitura delle pareti dei canali collettori (Fig. 1) — hanno permesso rilevamenti di estremo dettaglio e l'acquisizione di dati radiometrici e archeologici rivelatisi indispensabili per la definizione della stratigrafia dei sedimenti lacustri e della successione delle fasi erosive relative al tardo Pleistocene superiore - Attuale.

In tutto sono stati individuati quattro complessi sedimentari (Fig. 13).

Il Complesso 1, formato per lo più da limi argillosi di colore grigio-bluastro, appare parzialmente eteropico

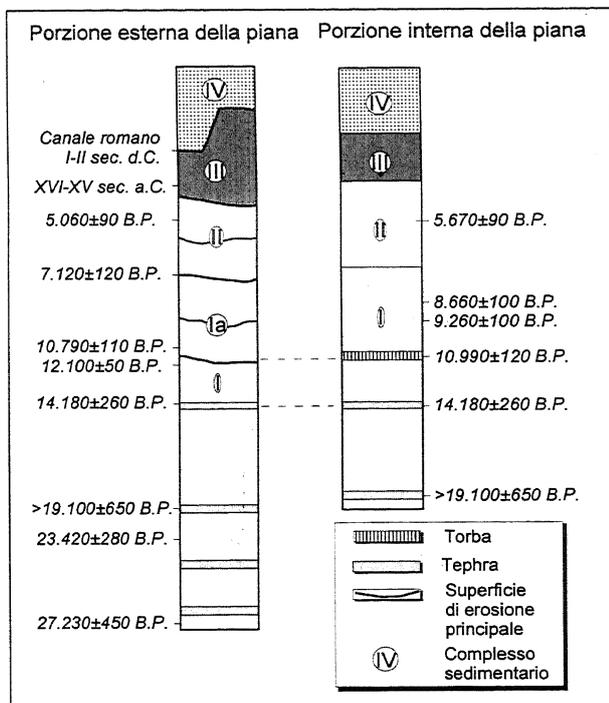


Fig. 13 - Datazioni assolute e distinzione dei complessi sedimentari relativi alle successioni di sedimenti presenti nelle porzioni centrali e marginali della Piana del Fucino.

Stratigraphic columns related to the lacustrine deposition of the last 30,000 years in the western and inner portion of the Fucino basin. Dates were obtained by means of ^{14}C and archaeological dating.

con sedimenti litorali depositi tra circa 30.000 e 20.000 anni fa in concomitanza con il raggiungimento di un'elevata quota di stazionamento del livello lacustre (Giraudi, 1988). Varie date sono disponibili per i sedimenti di questo complesso. Per la porzione inferiore sono disponibili le seguenti date ^{14}C : 27.230±450 anni B.P. (UD441) e 23.420±280 anni B.P. (BO390). In questa stessa porzione del Complesso 1, sono stati osservati anche vari livelli di tephra costituiti da sabbie grossolane, caratterizzate dall'abbondanza di cristalli di biotite di dimensioni anche centimetriche; il più recente di quelli finora rinvenuti ha mostrato, nel settore orientale del Fucino, un'età prossima a 19.100±650 anni B.P. (^{14}C , vedi paragrafo dedicato alla struttura della S.S. Marsicana).

Nella porzione medio-alta è stato rinvenuto un livello di tephra (analizzato da B. Narcisi, ENEA Casaccia), chimicamente e mineralogicamente identico a quello segnalato da Radmilli (1981) e Narcisi (1993) datato attorno a 14.000 anni fa⁽⁸⁾. E' stata altresì ottenuta una

(8) Narcisi (1993) riferisce a questo prodotto piroclastico una provenienza etnea ed in particolare lo correla con l'evento esplosivo che ha prodotto l'ignimbrite di Biancavilla-Montalto. Per questo tephra si terrà conto, da questo momento, della data 14.180±260 (^{14}C) relativa ai depositi piroclastici etnei di Biancavilla-Montalto riportata in Kieffer (1979) ed utilizzata da Narcisi (1993). E' stata effettuata una calibrazione di questa data mediante il programma CALIB 3.0 di Stuiver & Reimer (1993); il risultato, tenendo conto del metodo delle probabilità (2 σ), è 17.616 -16.347 anni B.P.

data pari a 12.100±50 anni B.P. (^{14}C ; 14.365-13.826 età ^{14}C cal.; campione BO391) su limi organici posteriori al suddetto tephra.

Ad eccezione dell'area posta in prossimità del Bacinetto, al tetto dei depositi descritti è presente una superficie di erosione assai marcata. Questa sottende sedimenti di colore giallastro la cui colorazione, come visto nel caso della trincea di Molini di Venere, è probabilmente legata a processi di ossidazione causati dalle oscillazioni della falda. La presenza di sedimenti di questo tipo in zone anche molto depresse dell'alveo testimonia un livello lacustre estremamente basso. La superficie di erosione si è perciò sviluppata in un momento posteriore a 12.100±50 anni B.P. (^{14}C ; 14.365-13.826 età ^{14}C cal.), in probabile concomitanza con la formazione di un livello di torbe rinvenuto nelle aree prossime al Bacinetto e datato a 10.990±120 (^{14}C ; 12.871-12.303 età ^{14}C cal.; campione UD439). Questo livello di torbe testimonia un eccezionale abbassamento di livello del lago. L'età della formazione della superficie di erosione è confermata dalla datazione a 10.790±110 anni B.P. (^{14}C ; 12.679-12.003 età ^{14}C cal.; campione UD435) di sedimenti depositi al di sopra della superficie stessa.

Nella porzione più centrale del bacino, il Complesso 1 continua con la sedimentazione di limi argillosi grigio bluastrati cui sono riferibili le date ^{14}C di 9.260±100 (^{14}C ; 10.205-9.835 età ^{14}C cal.; campione UD434), 8.660±100 anni B.P. (^{14}C ; 9.538-9.146 età ^{14}C cal.; campione UD433). Il tetto del Complesso 1 è perciò più recente di 8.660±100 anni B.P. e sensibilmente più antico della data 5.670±90 anni B.P. (^{14}C ; 6.491-6.168 età ^{14}C cal.; campione UD436) che si riferisce a sedimenti del Complesso 2 (vedi oltre).

Nelle zone più marginali, ove è presente la descritta superficie di erosione al di sopra dei limi di colorazione giallastra, la parte alta del Complesso 1 è costituita da alternanze di limi grigio-marroni piuttosto scuri con alcune intercalazioni di limi grigio-marroni più chiari (Complesso 1a).

Riassumendo, la deposizione del Complesso 1 deve essere avvenuta nel periodo compreso tra circa 27.000 anni fa e i primi millenni dell'Olocene. La successione stratigrafica del bordo orientale del lago, ricostruita grazie alla trincea di Molini di Venere, mostra età analoghe e litologia simile a quelle dei depositi dei Complessi 1 e 1a. Sedimenti prossimi al tetto di questa successione sono databili a 7.120±120 anni B.P. (^{14}C ; 7.929-7.526 età ^{14}C cal.). Sulla base dei dati disponibili è pertanto ipotizzabile che il tetto del Complesso 1a abbia un'età prossima a 7.000 anni fa.

Il Complesso 2 è costituito prevalentemente da sabbie fini biancastre e giallognole, laminate e non, che passano a limi con analoghe caratteristiche nelle parti più interne del bacino. Nella parte alta della successione, in prossimità delle zone di riva dell'antico lago, si rinvengono alcune intercalazioni colluviali limoso-argillose; intercalazioni di limi grigi sono invece presenti nella parte alta della successione nelle zone più interne del bacino.

Sono state effettuate datazioni ^{14}C su campioni prelevati nella porzione medio-alta di tale complesso sia nella zona marginale che nella zona centrale. Un frammento di legno proveniente da un sito di un'area margina-

le ha fornito un'età pari a 5.060 ± 90 anni B.P. (^{14}C ; 5.894-5.568 età ^{14}C cal.; campione BO393). Per ciò che concerne il settore centrale della Piana, una datazione sulla sostanza organica presente nei sedimenti lacustri ha fornito un'età pari a 5.670 ± 90 anni B.P. (^{14}C ; 6.491-6.168 età ^{14}C cal.).

Al tetto del Complesso 2 è talvolta presente una superficie di erosione. Questa è il risultato dell'attività erosiva legata all'oscillazione del livello lacustre, i cui effetti sono progressivamente più blandi (fino all'annullamento) verso il depocentro del bacino.

Per ciò che riguarda il Complesso 3, nella parte bassa della successione è presente un livello di sabbie grossolane formate per lo più da minerali vulcanici, contenenti, nei settori marginali della Piana, quantità variabili di ciottolotti calcarei ben arrotondati ed appiattiti. A questo livello, interpretabile come un episodio sedimentario legato alla presenza di una linea di riva lacustre, seguono limi e limi sabbiosi, laminati e non, di colore chiaro. All'interfaccia tra i due livelli descritti sono stati rinvenuti frammenti di ceramica decorata: l'esame della ceramica, effettuato da P. Petitti (com. pers.) della Soprintendenza Archeologica per l'Etruria Meridionale, ha indicato che essa risale alla media Età del Bronzo, e più precisamente al periodo compreso tra il XVI e XV secolo a.C.

Sopra al livello di limi sabbiosi chiari, poggiano limi grigi mal stratificati, piuttosto scuri, contenenti ceramica romana repubblicana. Questi limi sono tagliati da manufatti relativi ad opere idrauliche connesse alla bonifica romana effettuata nel I-II secolo d.C. e, sovente, da nette superfici di erosione.

Il Complesso 4 è costituito da livelli di limi più o meno sabbiosi biancastri, laminati e non, al di sopra dei quali sono presenti limi di colore grigio-marrone. Questa successione si è sedimentata sulle opere idrauliche di età romana. Il tetto del Complesso 4 è formato da limi sabbiosi biancastri, laminati e non, che costituiscono il prodotto delle ultime fasi deposizionali del lago del Fucino.

Il rilevamento delle lunghe pareti dei canali del Fucino e dello scavo per l'acquedotto ha consentito anche importanti osservazioni per ciò che concerne la giacitura dei sedimenti lacustri. Queste osservazioni, risultate fondamentali per l'analisi paleosismologica del settore centro-occidentale del bacino, consentono di affermare che i livelli lacustri presentano sempre stratificazione piano-parallela, anche su distanze di diversi chilometri, con pendenze estremamente basse (al massimo 1° , per sedimenti del Pleistocene superiore) ed immersione verso il centro del lago; inoltre, non mostrano mai variazioni di spessore improvvise. In sostanza, il lago era caratterizzato da un fondo pressoché orizzontale almeno a partire dal Pleistocene superiore; di questo fondo orizzontale rimane testimonianza nelle scarsissime variazioni di quota che caratterizzano l'attuale superficie topografica. Al contrario, nei siti studiati, ed esclusivamente in corrispondenza delle faglie, sono state osservate immersioni dei sedimenti lacustri verso il bordo del lago, discordanze angolari ed improvvise variazioni degli spessori, con ispessimenti dei livelli sedimentari verso la riva del lago. Le condizioni di giacitura "normali" sono sempre recuperate a distanze di pochi metri

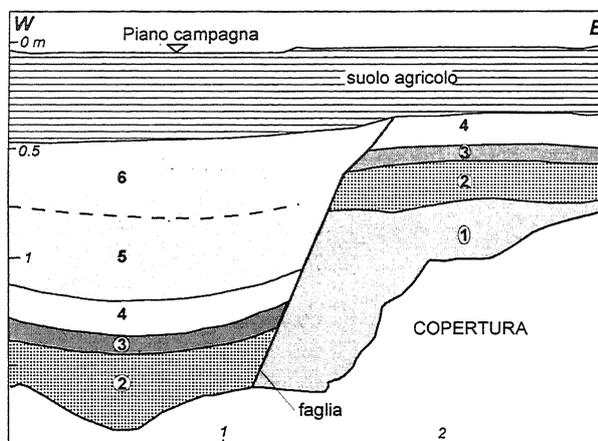


Fig. 14 - Sezione geologica della parete N dello scavo realizzato per la posa in opera dell'acquedotto in corrispondenza della faglia di Trasacco, in prossimità del fosso 41 (sito 6 in Fig. 1). Legenda: 1 = limi argillosi grigio-azzurri, con colorazione giallastra al tetto, contenenti livelli di tephra con abbondanti cristalli di biotite (Complesso 1); 2 = limi grigio-marroni; 3 = limi biancastri; 4 = limi grigi (2, 3, 4, Complesso 4); 5 = limi grigio-marroni chiari, completamente destrutturati; 6 = limi grigio-marroni completamente destrutturati, contenenti molti resti vegetali. In questa sezione sono stati riconosciuti due eventi di dislocazione di cui il più antico è di età post-romana, il più recente è riferibile al 1915.

Geological section of the northern wall of the gas-pipeline trench across the Trasacco fault, close to Fosso 41 (site 6 in Fig. 1). Legend: 1 = greyish-blue to yellowish (at the top) clayey-silts, containing coarse biotite tephra levels (1st Complex in Fig. 13); 2 = greyish-brownish silts; 3 = whitish silts; 4 = greyish silts (2-3-4, 4th Complex); 5 = unstructured light brownish-greyish silts; 6 = unstructured greyish-brownish silts, rich in vegetal remains. Two events have been detected in this outcrop, the older occurred during the post-Roman age while the younger is related to the 1915 event.

dalle faglie. Per queste ragioni, discordanze angolari, giaciture anomale, ispessimenti dei vari livelli lacustri sono da porre direttamente in relazione con l'attività delle strutture studiate e costituiscono degli elementi significativi nell'analisi paleosismologica.

7.2 Il sito di Fosso 41

Come accennato, i lavori per la realizzazione dell'acquedotto che assolve al fabbisogno idrico nella zona industriale di Avezzano hanno comportato lo scavo di una lunga trincea che ha intersecato la faglia di Trasacco ad W di Strada 37, a pochi metri dalla sponda orientale del Fosso 41 (sito 6 in Fig. 1). Nello scavo, profondo circa 3 m ma già parzialmente riempito al momento del sopralluogo, l'osservazione della parete N ha reso ben evidente che la faglia di Trasacco è responsabile della dislocazione di tutta la serie sedimentaria esposta, fino alla base dell'aratura (Fig. 14).

7.2.1 Stratigrafia

I sedimenti più antichi (1), affioranti solo nel labbro rialzato della faglia, sono costituiti da limi-argillosi contenenti (nei settori adiacenti alla sezione di Fig. 14) livelli di tephra grossolani ricchi di cristalli di biotite e caratterizzati dalla solita colorazione giallastra nella parte alta. Questi sedimenti sono correlabili alla porzione più antica del

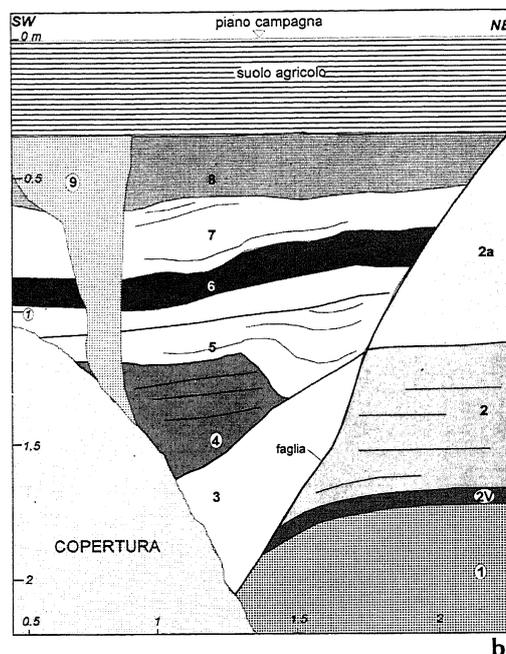
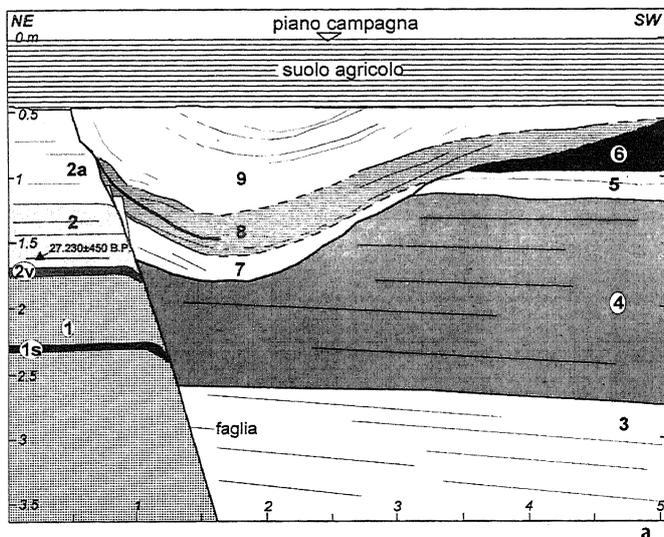


Fig. 15 - Sezioni geologiche delle pareti della trincea realizzata in corrispondenza della faglia di Trasacco, in prossimità di Strada 37 (sito 7 in Fig. 1), alcune decine di metri a Sud dello scavo di cui in Figura 14. La Figura 15a si riferisce alla parete SE della trincea, la 15b si riferisce alla parete NW. Legenda: 1 = ghiaia con matrice sabbiosa rossastra, con un livello limoso (1s); 2 = limo argilloso di colore grigio-azzurro, giallastro al tetto (2a), con livelli di tephra (2v) contenenti abbondanti cristalli di biotite (Complesso 1); 3 = limi argillosi grigio-azzurri (Complesso 1); 4 = limi laminati biancastri con sottili livelli di limi scuri (Complesso 2); 5 = limi laminati grigiastri (Complesso 3, di età prossima al XV-XVI secolo a.C.); 6 = limi grigio-marroni (Complesso 3; età romana precedente il I-II secolo d.C.); 7 = limi biancastri sottilmente stratificati; 8 = limi grigio-marroni; 9 = (Fig.15a), limi grigi (7, 8, 9; Complesso 4); 9 = (Fig.15b), sabbie limose destrutturate, riempimento di una frattura che taglia tutta la successione sedimentaria (effetto di liquefazione). L'analisi di questa sezione ha consentito l'individuazione di cinque eventi di dislocazione di età successiva a 10.790±110 anni B.P. (^{14}C ; 12.679-12.003 età ^{14}C cal.). La dislocazione più recente è riferibile al terremoto del 1915, la più antica ad un momento compreso tra 10.790±110 anni B.P. e 7.120±120 anni B.P. (^{14}C ; 7.929-7.526 età ^{14}C cal.).

Geological sections of the southeastern (a) and northwestern

(b) walls of the trench excavated across the Trasacco fault, close to Strada 37 (site 7 in Fig. 1). The trench was located a few meters to the south of the site in Figure 14. Legend: 1 = reddish sandy gravels with a silty level (1s); 2 = greyish-blue clayey-silts, yellowish at the top (2a) with a coarse biotite tephra level (2v); 3 = greyish-blue clayey-silts (1st Complex); 4 = laminated whitish silts with thin dark silt levels (2nd Complex); 5 = laminated greyish silts (3rd Complex; age close to the 15th-16th century B.C.); 6 = brownish-grey silts (3rd Complex; Roman Age, preceding the 1st-2nd century A.D. reclamation works); 7 = thinly bedded whitish silts; 8 = greyish-brown silts; 9 = (Fig. 15a), greyish silts (7, 8, 9; 4th Complex); 9 = (fig. 15b), unstructured silty sands filling a fracture which cuts the entire sedimentary succession (effect of a liquefaction event). Five movements have been recognized after 10,790±110 B.P. (^{14}C age; 12,679-12,003 B.P., ^{14}C calibrated age). The most recent displacement is related to the 1915 earthquake, the oldest has an age between 10,790±110 B.P. and 7120±120 B.P. (^{14}C age; 7929-7526 calibrated ^{14}C age).

Complesso 1 (vedi paragrafo precedente). Limi organici facenti parte di tale complesso, campionati nel sito 7 a poche decine di metri da quello in oggetto, datati col metodo del ^{14}C hanno fornito un'età pari a 27.230±450 anni B.P. (UD441).

I livelli più recenti affiorano invece su entrambi i lati della faglia.

I sedimenti del livello 2 sono rappresentati da limi grigio-marroni piuttosto scuri; essi sono coperti da limi biancastri (3), cui seguono limi di colore grigio (4). La successione descritta è, sia dal punto di vista litologico, sia perchè costituisce parte dei prodotti dell'ultima attività deposizionale del lago, correlabile al Complesso 4 descritto in precedenza. L'età di tale complesso è compresa tra il periodo post-romano e la bonifica ottocentesca.

Nella parte ribassata dalla faglia, al tetto di tali sedimenti e al di sotto del livello dell'aratura, sono presenti altri due livelli. Il primo, costituito da limi grigio-marroni chiari (5) totalmente destrutturati, rappresenta l'orizzonte agrario precedente al 1915, realizzato verosimilmente a spese dei materiali di risulta dello scavo dell'adiacente Fosso 41 (riferibile all'insieme degli interventi idraulici

ottocenteschi realizzati nell'ambito delle operazioni di bonifica del lago).

Un ulteriore deposito (6), costituito da limi anch'essi destrutturati, contenenti frammenti vegetali e molte radici, è presente al tetto dei limi di riporto precedentemente descritti e al di sotto del livello dell'aratura (della sua origine si tratta nella parte dedicata agli aspetti tettonici).

7.2.2 Tettonica

La faglia di Trasacco presenta, nella sezione analizzata, direzione NNW-SSE e immersione verso SW, con inclinazione di circa 70°.

Per quanto riguarda le dislocazioni, possiamo notare che un movimento della faglia deve essere avvenuto nel corso della sedimentazione del livello 2. Infatti, questo livello di età tardo o post-romana appare, nonostante l'impossibilità di osservarne la base, ispessito nella parte ribassata dalla faglia. Dalla Figura 14 è desumibile una dislocazione complessiva del livello 2 di almeno 1 m.

Un secondo movimento della faglia deve essere avvenuto dopo la messa in posto del livello 5, databile

alle fasi di bonifica del lago. Tale movimento, che ha dislocato in uguale misura il tetto del livello 2, ed i livelli 3 e 4, è quindi riferibile al terremoto del 1915. La dislocazione cosismica del 1915 è valutabile in circa 70 cm. Il deposito 6 dovrebbe perciò rappresentare il terreno di riporto probabilmente accumulato per eliminare il dislivello creato dalla scarpata cosismica del 1915.

7.3 La trincea di Strada 37

Una trincea è stata eseguita perpendicolarmente alla faglia di Trasacco, ad Ovest di Strada 37 (sito 7 in Fig. 1), poche decine di metri a SE di quella descritta nel precedente paragrafo. Lo scavo ha raggiunto la profondità massima di 4 m circa. Le evidenti differenze riscontrate nelle successioni stratigrafiche relative alle due pareti dello scavo (Fig. 15a e 15b) sono dovute alla presenza della sezione di un canale antropico che soltanto la parete SE dello scavo ha intersecato. Come visibile dalla Figura 15a, questo canale è riempito dai sedimenti lacustri numerati 7, 8, 9.

7.3.1 Stratigrafia

Da un punto di vista generale, oltre ai sedimenti già descritti nel paragrafo relativo all'adiacente scavo di fosso 41, sono qui presenti anche sedimenti di altri complessi.

I sedimenti più antichi sono rappresentati da ghiaie sabbiose in matrice limoso-sabbiosa rossastra, costituenti il substrato dei quattro complessi descritti in precedenza, ed affioranti solo in questa trincea (1 in Fig. 15). Essi sono coperti da limi argillosi grigio-azzurri (2) di età pari a 27.230 ± 450 anni B.P. (^{14}C), alterati e di colore giallastro al tetto (2a), contenenti livelli di tephra grossolani ricchi di cristalli di biotite (2v). Questi limi, affioranti solo nella porzione sollevata dalla faglia, corrispondono alla parte più antica del Complesso 1 (vedi paragrafo dedicato all'inquadramento stratigrafico).

Sedimenti limoso-argillosi di aspetto analogo sono presenti nella porzione ribassata dalla faglia (3); questi non contengono livelli di tephra e dovrebbero appartenere perciò alla porzione sommitale del Complesso 1 ed essere riferibili all'Olocene iniziale (Complesso 1a).

I sedimenti descritti di seguito affiorano invece solamente nella porzione ribassata dalla faglia.

Al di sopra dei sedimenti del Complesso 1a sono presenti limi di colore chiaro, laminati, con sottili intercalazioni di limi più scuri (4). Questi si sono sedimentati al di sopra di una netta superficie di erosione e sono chiaramente discordanti sui più antichi depositi. In base alle caratteristiche litologiche, alla posizione stratigrafica nell'ambito della successione affiorante nella trincea e quindi in base alla correlazione con la successione stratigrafica individuata nell'adiacente scavo dell'acquedotto, i suddetti sedimenti sono correlabili con il Complesso 2, descritto nel paragrafo dedicato all'inquadramento stratigrafico. Tali sedimenti sono perciò più recenti di 7.120 ± 120 anni B.P. (^{14}C ; $7.929-7.526$ età ^{14}C cal.) e contengono le date di 5.670 ± 90 (^{14}C ; $6.491-6.168$ età ^{14}C cal.) e 5.060 ± 90 anni B.P. (^{14}C ; $5.894-5.568$ età ^{14}C cal.) che caratterizzano il Complesso 2. Sopra ai limi 4 è presente una evidente superficie di erosione, correlabile a quella, poco più antica del XV-XVI secolo a.C.,

posta al tetto del Complesso 2.

Su questa superficie di erosione appoggiano depositi limosi (5), di colore grigio chiaro, parzialmente laminati. Al tetto di questi sono presenti limi grigio-marroni scuri (6). L'insieme dei livelli 5 e 6 appare correlabile al Complesso 3 descritto nel paragrafo dedicato all'inquadramento stratigrafico. I sedimenti 5 devono essere perciò sia contemporanei che successivi al XV-XVI secolo a.C.; i sedimenti 6 hanno probabilmente età romana, più antica delle fasi di bonifica avvenute nel corso del I e II secolo d.C. (Fig. 13). All'inquadramento cronologico e stratigrafico fin qui proposto si accorda la presenza, nel fianco orientale della trincea, della sezione del canale cui si è accennato in precedenza. Tale canale incide i sedimenti 6 ed è coperto dai sedimenti attribuibili al Complesso 4 (vedi oltre): esso dovrebbe quindi essere stato scavato nell'ambito delle operazioni di prosciugamento del lago effettuate in epoca romana⁽⁹⁾.

Sia all'interno del canale che sulle sue sponde sono presenti ulteriori sedimenti lacustri costituiti da limi biancastri sottilmente stratificati (7), coperti, in lieve discordanza, da limi grigio-marroni (8). Questi, a loro volta, presentano al tetto limi più chiari (9 in Fig. 15a). I sedimenti descritti sono correlabili al Complesso IV descritto in precedenza.

I sedimenti 8 e 9 corrispondono a quelli indicati con 2, 3, 4 nella Figura 14 relativa allo scavo di Fosso 41.

7.3.2 Tettonica

La faglia di Trasacco presenta, in questa trincea, direzione NW-SE e immersione verso SW con pendenza pari a $70^\circ-75^\circ$ (vedi anche Fig. 16). Per quel che riguarda le dislocazioni dei sedimenti legate all'attività di questa struttura, l'assenza di elementi di correlazione tra le porzioni rialzata e ribassata dalla faglia non permette di valutare adeguatamente le entità dei rigetti e rende altresì più complessa la scansione dei movimenti della faglia, almeno per ciò che concerne gli eventi di dislocazione più antichi.

Poiché la struttura interessa tutta la serie dei depositi lacustri (Figg. 15 e 16), anche quelli relativi alle fasi finali dell'attività deposizionale del lago prima del suo definitivo prosciugamento, l'ultima dislocazione di cui la faglia è responsabile deve essere riferita al terremoto del 1915⁽¹⁰⁾. Più in particolare, i sedimenti dislocati esclusivamente dall'evento del 1915 sono rappresentati dal livello 9 e dalla parte medio-alta del livello 8 che sigilla

(9) Di simili opere minori legate alla sistemazione idraulica del Fucino si fa cenno anche in Agostini & Rossi (1989).

(10) La sedimentazione lacustre nell'area del sito in oggetto è da riferire ad alti livelli di stazionamento delle acque del lago. La curva della variazione dei livelli lacustri dopo la bonifica romana, di cui in Giraudi (1997), mostra la frequenza di momenti di alto stazionamento a partire dal XIV secolo. Le fasi di alto stazionamento sono invece carenti nei secoli precedenti. La conseguenza di questi dati è che gran parte della sedimentazione del complesso 4 nell'area di Strada 37 è da riferire agli ultimi secoli prima della bonifica ottocentesca. Considerando la sismicità storica del Fucino, una dislocazione di tali livelli lacustri può essere soltanto riferita al 1915.

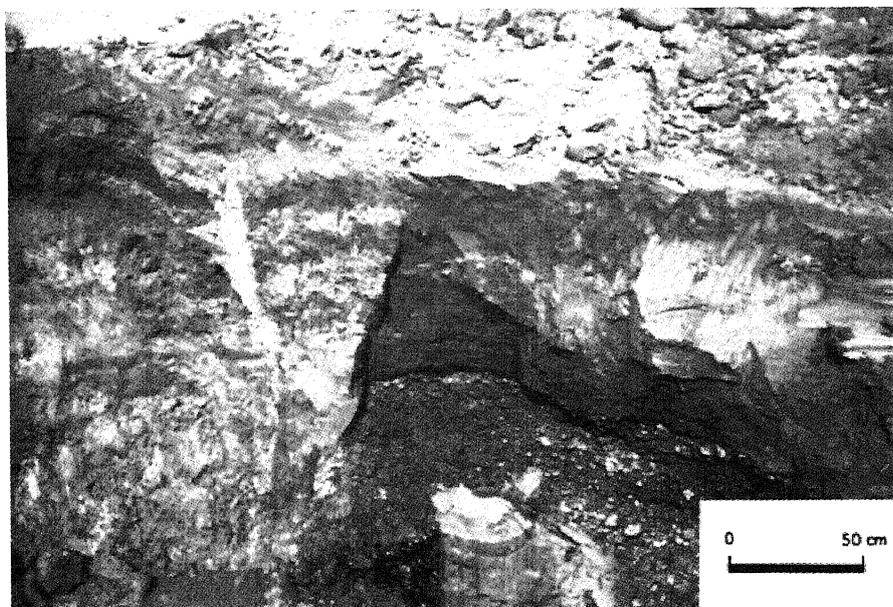


Fig. 16 - Particolare della parete NW (Fig. 15b) della trincea in prossimità di Strada 37 (sito 7 in Fig. 1) durante una fase dello scavo. E' visibile il contatto per faglia tra la successione di età pleistocenica superiore costituita da ghiaie (1 in Fig. 15) e argille grigio-azzurre (2 e 2a in Fig. 15) e la successione lacustre di età fino al XIX secolo.

Detail of the NW wall of the site 7 trench during excavation. The fault puts the Upper Pleistocene succession (gravels and clays, 1 to 2a in Fig. 15) in contact with the Holocene lacustrine deposits.

chiaramente una dislocazione precedente (Fig. 15a). L'entità del rigetto non è valutabile con precisione, essendo la parte sollevata inglobata nel livello dell'aratura, ma è superiore a 40 cm.

Una dislocazione precedente deve risalire alle fasi di deposizione della porzione medio-inferiore dei limi grigio-marroni (8 in Fig. 15a) posteriori al canale romano. L'evento deformativo è evidenziato dalla dislocazione del livello 7 (che, a causa della deformazione, presenta immersione verso S; Fig. 15b) e della parte inferiore del livello 8 ad opera di due rami minori della faglia principale. Sia questa dislocazione che quella relativa al 1915, responsabili della deformazione dei sedimenti del Complesso 4, sono state individuate anche nell'adiacente trincea di Fosso 41. L'entità di tale movimento è pari almeno a 25 cm.

La definizione e l'inquadramento cronologico degli eventi di dislocazione precedenti a quelli di cui sopra sono consentiti, per quanto osservato nel paragrafo dedicato alla stratigrafia, dall'individuazione delle discordanze angolari che interessano la successione lacustre a ridosso della faglia. Infatti, per effetto dei movimenti della faglia, i sedimenti presenti nella porzione ribassata non risultano sub-orizzontali o immergenti verso la porzione più depressa del bacino — come sarebbe naturale in base a quanto osservato nella parte finale del paragrafo dedicato all'inquadramento crono-stratigrafico — bensì sub-orizzontali soltanto al tetto della serie e immergenti (con diverse giaciture) verso l'esterno del bacino, cioè verso S e SW, già in corrispondenza del livello 8. Nell'ambito dei 5-6 m di parete di trincea disponibile a Sud della faglia, gli orizzonti sedimentari posteriori al livello 3 tendono progressivamente ad annullare la discordanza angolare fino a diventare piano-paralleli.

Una discordanza angolare è stata notata all'interno dei sedimenti 5, proprio in prossimità del piano di faglia (Fig. 15b); essa indicherebbe una deformazione contemporanea alla sedimentazione della porzione medio-basale del suddetto corpo sedimentario. Questo movimento sarebbe riferibile ad un momento prossimo al XV-XVI

secolo a.C. o un po' più recente.

Un'ulteriore discordanza angolare è presente tra la porzione medio-alta dei sedimenti 4 e la porzione inferiore degli stessi (Fig. 15a). Essa, in base alla correlazione tra il livello 4 ed il Complesso 2, sarebbe il risultato di una deformazione di età prossima o poco più antica di circa 5.000 anni fa (o poco più se si considerano le età calibrate). Va anche osservato che il tetto dei sedimenti 4 appare basculato dall'attività della faglia ed è attualmente inclinato di 6° - 7° verso SW (verso le sponde dell'antico lago) per un tratto pari ad almeno 4-5 m a partire dalla faglia.

Un'ultima discordanza, molto marcata, appare infine all'appoggio tra i sedimenti 4 e 3, visibile sia nella figura 15a che nella Figura 15b. Tale discordanza è il risultato di un movimento della faglia avvenuto dopo la sedimentazione del livello 3, che dovrebbe avere un'età compresa tra 10.790 ± 110 anni B.P. (^{14}C ; 12.679-12.003, età ^{14}C cal.) e 7.120 ± 120 anni B.P. (^{14}C ; 7.929-7.526 età ^{14}C cal.), ma prima di quella del livello 4.

In conclusione, l'analisi delle pareti della trincea di Strada 37 ha consentito l'individuazione di almeno cinque eventi di dislocazione della faglia di Trasacco, successivi alla parte iniziale dell'Olocene:

- a) una dislocazione riferibile al 1915;
- b) una dislocazione successiva alla bonifica romana (I-II secolo d.C.);
- c) una dislocazione prossima al XV-XVI secolo a.C.;
- d) una dislocazione prossima a 5.000 anni fa (poco più se si considerano le età calibrate);
- e) una dislocazione di età compresa tra 10.790 ± 110 (^{14}C ; 12.679-12.003 età ^{14}C cal.) e 7.120 ± 120 anni B.P. (^{14}C ; 7.929-7.526 età ^{14}C cal.), presumibilmente prossima a quest'ultima data.

7.4 La trincea di Strada 38

Una trincea con direzione NE-SW che ha raggiunto la profondità massima di circa 3 m è stata eseguita in

corrispondenza della faglia di Trasacco, immediatamente a SE dell'intersezione tra quest'ultima e la Strada 38 (sito 8 in Fig. 1).

Di seguito viene descritta la successione stratigrafica messa in evidenza nella parete meridionale della trincea (Fig. 17).

7.4.1 Stratigrafia

I sedimenti più antichi affioranti sono rappresentati da limi argillosi grigio-bluastri (1 in Fig. 17) che presentano la solita colorazione giallastra al tetto. Nella porzione rialzata dalle faglie, a circa 2,5 m di profondità è stato rinvenuto e campionato un livello contenente materiale organico: questo ha fornito un'età pari a 23.420 ± 280 anni B.P. (BO390) col metodo del ^{14}C . Nella porzione ribassata, un campione di limi organici prelevato ad una profondità di 2 m ha indicato un'età pari a 12.100 ± 50 anni B.P. (^{14}C ; 14.365-13.826 età ^{14}C cal.) col metodo del ^{14}C . I sedimenti suddetti (1 in Fig. 17) sono perciò riferibili al Complesso 1 descritto nel paragrafo dedicato all'inquadramento stratigrafico. Al tetto di questi sedimenti è presente una netta superficie di erosione. Essa, in base a quanto è ricordato nel citato paragrafo è databile a circa 10.990 ± 120 anni B.P. (^{14}C ; 12.871-12.303 età ^{14}C cal.).

In due sondaggi a mano eseguiti a circa 20 m a NE e 20 m a SW dalle estremità della trincea, sono stati ritrovati limi grigio-bluastri, giallastri al tetto, litologicamente identici a quelli messi in evidenza con lo scavo. Nel sondaggio posto a NE della trincea (Fig. 17a) tali limi contenevano, alla profondità di 2,9 m dal piano campagna, un livello di tephra sabbioso con abbondanti cristalli di biotite, analogo a quelli presenti normalmente nella porzione basale del Complesso 1. Nel sondaggio posto a SW della trincea, i limi contenevano, alla profondità di 2,5 m dal piano campagna, un tephra (analizzato da B. Narcisi, com. pers.) chimicamente e mineralogicamente identico a quello segnalato da Radmilli (1981) e Narcisi (1993) dato attorno a 14.000 anni fa (età ^{14}C di riferimento 14.180 ± 260 , vedi nota 8; 17.616-16.347 età ^{14}C cal.).

Sulla superficie di erosione posta al tetto dei sedimenti 1 appoggiano sedimenti limosi, stratificati, grigio-marroni, con livelli intercalati leggermente più scuri (2 in Fig. 17). Un campione prelevato alla base di tali sedimenti, analizzato con il metodo del ^{14}C ha fornito un'età pari a 10.790 ± 110 anni B.P. (^{14}C ; 12.679-12.003 età ^{14}C cal.). I limi 2 sono coperti da limi grigio-marroni (3 in Fig. 17), cui seguono limi di colore chiaro (4 in Fig. 17) e successivamente limi di colore marrone scuro (5 in Fig. 17). Al tetto di questi ultimi è presente una superficie di erosione che taglia la stratificazione dei sedimenti 5. L'insieme dei sedimenti 2, 3, 4 e 5 corrisponde al Complesso 1a di cui al paragrafo dedicato all'inquadramento stratigrafico.

Sulla superficie di erosione sviluppata al tetto di 5 appoggiano limi chiari (6) coperti a loro volta da un livello di limi un po' più scuri, laminati (7). In eteropia con quest'ultimo livello è stato individuato, nella parte ribassata dalla faglia E, un deposito limoso formatosi per rideposizione dei limi lacustri sollevati dalla stessa faglia (7a).

La posizione stratigrafica dei livelli 6 e 7 nell'ambito della successione individuata consente di attribuire gli stessi al Complesso 2 di cui al paragrafo dedicato all'in-

quadramento stratigrafico. L'età di questi sedimenti deve essere compresa tra meno di 7.120 ± 120 (^{14}C ; 7.929-7.526 età ^{14}C cal.) ed un momento di poco successivo a 5.060 ± 90 anni B.P. (^{14}C ; 5.894-5.568 età ^{14}C cal.).

Al tetto del livello 7 è presente una superficie di erosione, evidente specialmente nella porzione sollevata dalla faglia E. Su questa superficie appoggiano, in chiara discordanza sui sedimenti più antichi, limi grigi piuttosto scuri (8 in Fig. 17) riferibili al Complesso 3. In base a quanto osservato nel paragrafo dedicato all'inquadramento stratigrafico, questi sedimenti avrebbero un'età compresa tra il XVI-XV secolo a.C. ed un periodo precedente alla bonifica realizzata nel I-II secolo d.C.

Al tetto di 8 è presente una superficie di erosione, più evidente nel settore interessato dalla faglia E. Su tale superficie appoggia, in leggera discordanza sui sedimenti sottostanti, un livello di pochi centimetri di limi grigio chiari coperti a loro volta da limi grigio-marroni più scuri (9 in Fig. 17); la serie termina con un livello limoso grigio più chiaro (10 in Fig. 17) che affiora appena sotto l'aratura. I livelli 9-10 corrispondono, in base alla correlazione con la successione stratigrafica ricostruita nello scavo per la posa in opera dell'acquedotto e lungo le pareti del canale collettore, al Complesso 4, databile dal periodo posteriore alla bonifica romana fino ai momenti immediatamente precedenti alla bonifica ottocentesca.

7.4.2 Tettonica

Per quel che riguarda l'aspetto strutturale, dalla Figura 17b è evidente la complessità dell'espressione superficiale della struttura in oggetto, costituita, nel sito analizzato, da più piani di faglia con rigetti di non elevata entità, orientati mediamente $N60^\circ W$, con pendenze variabili tra i 60° e i 90° ed immersioni prevalentemente verso SW ed in qualche caso verso NE. Il più significativo ribassamento della successione verso NE è da riferire alla faglia G della Figura 17. Ovviamente, in accordo con quanto osservato al Fosso 41 e a Strada 37, i maggiori rigetti complessivi sono legati al ribassamento della successione verso SW.

I piani di faglia sono visibili fino al livello sottostante all'aratura, ad essi sono perciò legate dislocazioni posteriori a tutti i sedimenti lacustri precedentemente descritti. L'ultimo movimento della struttura è quindi probabilmente legato al terremoto del 1915.

Un movimento precedente deve essere avvenuto nel corso della sedimentazione del livello 9, che risulta nettamente ispessito nella porzione ribassata dalla faglia E (in corrispondenza della faglia E il tetto del livello 9 è dislocato di 7 cm, la base è dislocata di 21 cm). Questo evento sarebbe di età tardo o post-romana.

Un altro evento deve essere avvenuto nel corso della sedimentazione del livello 8, in considerazione del fatto che anch'esso si presenta ispessito nella parte ribassata dalla faglia E (in corrispondenza della faglia E il tetto del livello 8 è dislocato di 21 cm, la base è dislocata di 25 cm). Questo evento sarebbe databile ad un periodo più recente del XV-XVI secolo a.C. e più antico del I-II secolo d.C.

Un ulteriore movimento deve essere avvenuto nel corso della sedimentazione del livello 7, che risulta note-

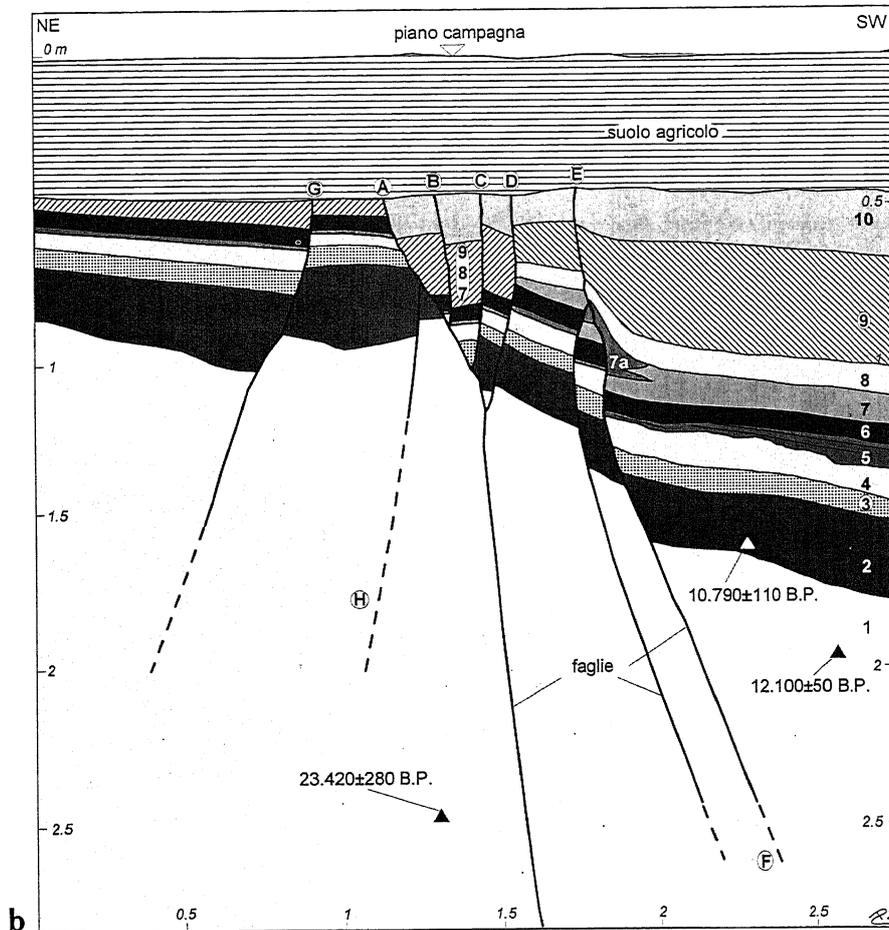
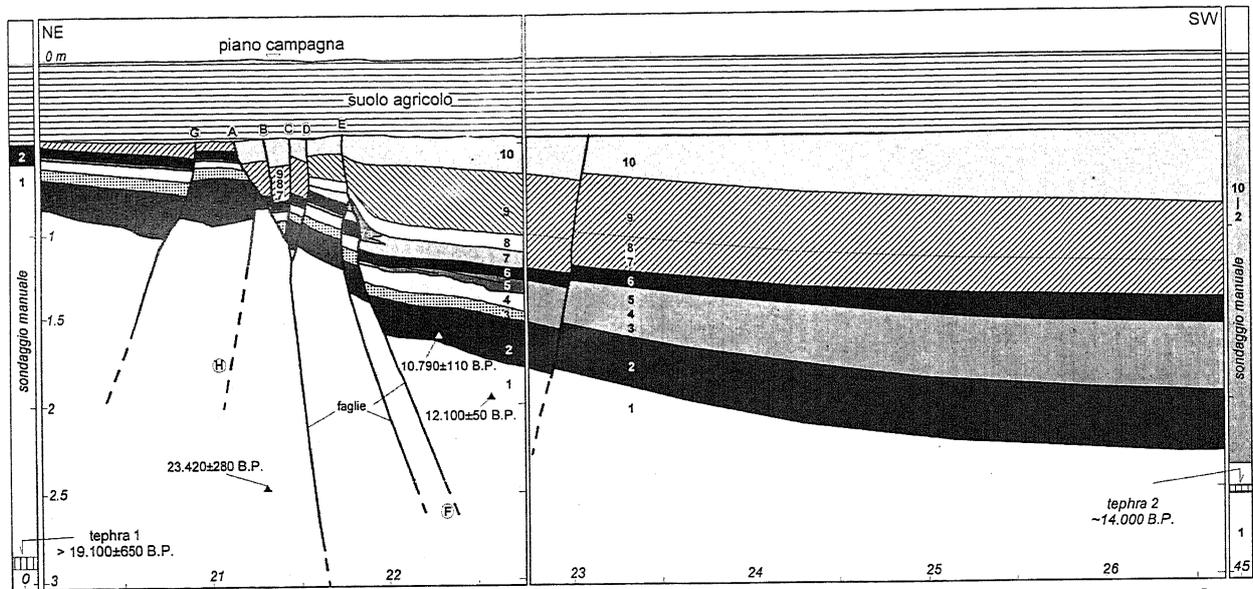


Fig. 17 - Sezione geologica della parete S della trincea realizzata in corrispondenza della faglia di Trasacco, in prossimità di Strada 38 (sito 8 in Fig. 1): a, veduta d'insieme; b, ingrandimento del settore maggiormente deformato. Legenda: 1 = limi argillosi di colore grigio-azzurro, giallastri al tetto (Complesso 1); 2 = limi stratificati grigio-bruni, con livelli di colore più scuro; 3 = limi grigio-bruni; 4 = limi di colore grigio; 5 = limi grigio-bruni (2, 3, 4 e 5, Complesso 1a); 6 = limi di colore grigio-biancastro; 7 = limi laminati di colore grigio; 7a, limi ridepositati (6 e 7, Complesso 2); 8, limi di colore grigio scuro (Complesso 3); 9 = limi di colore grigio o grigio-marrone; 10 = limi grigi (9 e 10, Complesso 4). L'analisi di questa sezione ha consentito il riconoscimento di sette eventi di dislocazione di età successiva a 10.790 ± 110 anni B.P. Di questi il più recente è riferibile al terremoto del 1915; il più antico è di poco successivo a 10.790 ± 110 anni B.P. (^{14}C ; $12.679-12.003$ età ^{14}C cal.).

Geological section of the southern wall of the trench excavated across the Trasacco fault, close to Strada 38 (site 8 in Fig. 1): a, general overview; b, enlargement of the most deformed sector of "a". Legend: 1 = greyish-blue clayey-silts, yellowish at the top (1st complex); 2 = layered greyish-brown silts with dark silty levels; 3 = greyish-brown silts; 4 = grey-

(segue a pag. 49/cont. p. 49) →

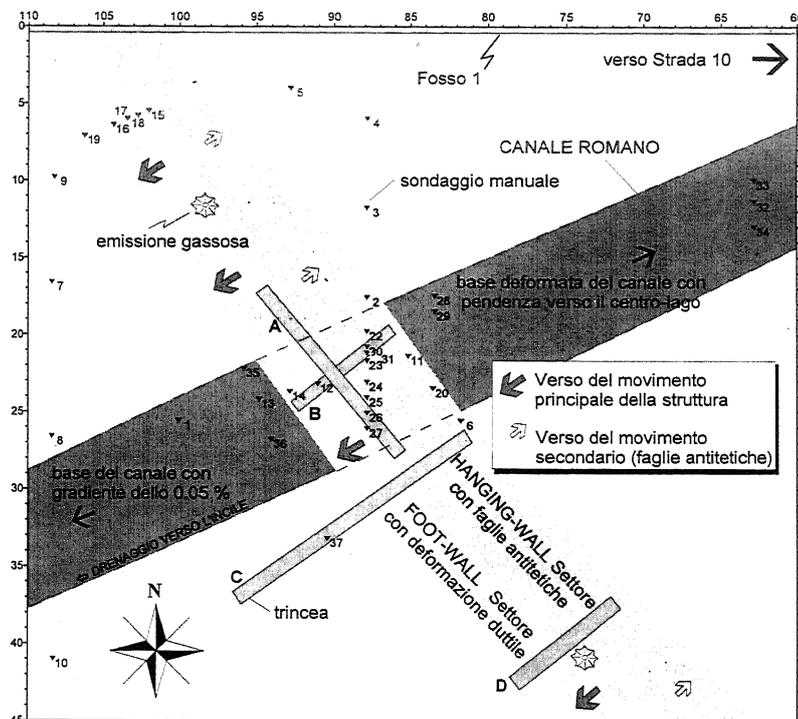


Fig. 18 - Pianta dell'area interessata dagli scavi in prossimità di Strada 10 (sito 9 in Fig. 1). La fascia deformata corrispondente alla faglia di Trasacco (tonalità più chiare di grigio) attraversa l'area in direzione NW-SE; il canale collettore romano (in grigio scuro) ha direzione NE-SW. Le lettere A, B, C e D evidenziano le trincee realizzate sia all'interno del canale romano (A, B) che esternamente ad esso. I piccoli triangoli numerati si riferiscono ai sondaggi a mano effettuati nell'area.

Map of the site 9 area, close to Strada 10. The NW-SE band represents the deformation belt related to the activity of the Trasacco fault. The darker ENE-SSW band represents the Roman drainage channel. A-B-C-D represent the trenches excavated at this site while the black triangles represent the hand-boreholes drilled to spatially define subsurface features.

corso della deposizione dei sedimenti 2 (in corrispondenza della faglia E il tetto è dislocato di 36 cm, la base di 39 cm), datati, nella parte basale, a 10.790 ± 110 anni B.P. col metodo del ^{14}C .

volmente ispessito nella porzione ribassata e presenta, a ridosso della faglia E, un evidente cuneo colluviale (7a). Tale evento, in base all'inquadramento cronostratigrafico disponibile, deve essere avvenuto prima di circa 5.000 anni fa ed essere sensibilmente posteriore a circa 7.120 ± 120 anni B.P. (^{14}C ; 7.929-7.526 età ^{14}C cal.).

Altri eventi di dislocazione più antichi sono indicati dall'improvvisa variazione di spessore di alcuni livelli in corrispondenza delle faglie.

Due eventi di dislocazione, precedenti a quelli descritti, sono occorsi durante la deposizione dei sedimenti 4 e 3: questi livelli presentano spessori maggiori nella porzione ribassata dalle faglie E ed F. Per ciò che concerne il livello 4, in corrispondenza della faglia E il tetto è dislocato di 27 cm, la base di 31 cm mentre in corrispondenza della faglia A il tetto è dislocato di 25 cm e la base di 29 cm. Per ciò che concerne il livello 3, in corrispondenza della faglia E il tetto è dislocato di 31 cm, la base di 36 cm mentre in corrispondenza della faglia A il tetto è dislocato di 29 cm, la base di 32 cm. Gli eventi sono databili al periodo compreso tra circa 7.120 ± 120 (^{14}C ; 7.929-7.526 età ^{14}C cal.) e circa 10.790 ± 110 anni B.P. (^{14}C ; 12.679-12.003 età ^{14}C cal.).

Almeno un'ulteriore dislocazione, evidenziata dagli stessi motivi di cui sopra, deve essere avvenuta nel

Eventi di dislocazione hanno riguardato la struttura anche precedentemente alla superficie di erosione scolpita sui sedimenti 1. Sebbene non sia possibile effettuare una scansione di questi eventi, essi sono chiaramente evidenziati dalla presenza, all'interno dei sedimenti 1, nella parte rialzata dalla faglia, di date molto più antiche (23.420 ± 280 anni B.P., età ^{14}C) di quelle a quote poco superiori e poste nella parte ribassata dalla struttura (12.100 ± 50 anni B.P., età ^{14}C ; 14.365-13.826 età ^{14}C cal.).

In sintesi, negli ultimi 10.790 ± 110 anni (^{14}C ; 12.679-12.003 età ^{14}C cal.) la struttura in esame deve essersi attivata almeno 7 volte. A fronte di un elevato numero di eventi, l'entità della dislocazione fragile in corrispondenza delle faglie, considerando il rigetto verticale complessivo della base dei sedimenti 2, è piuttosto scarsa, pari a soli 70 cm.

I tre eventi più antichi sarebbero responsabili, complessivamente, di una dislocazione pari a 15 cm, mentre gli ultimi quattro avrebbero prodotto una dislocazione complessiva pari a 55 cm.

I modesti rigetti riscontrati lungo questo tratto della faglia di Trasacco, assai minori di quelli rilevati a Strada 37 e al Fosso 41, possono non essere indicativi dell'entità della dislocazione che realmente caratterizza la suddetta struttura. Infatti, alla componente di dislocazione legata alla rottura dei terreni operata dal movimento delle faglie si accompagna una deformazione riferibile ad una blanda piega dei livelli lacustri tale che, verso SW, gli stessi raggiungono quote inferiori a quelle che li caratterizzano in prossimità delle faglie. Questo tipo di deformazione è evidente, ad esempio, se si considera la giacitura del livello 6 (misurabile con estrema precisione in trincea). Questo immerge verso SW con una pendenza pari a 6° che si mantiene costante fino ad almeno 3 m a SW della faglia E. Considerando le normali geometrie deposizionali dei livelli lacustri presenti

(cont da p. 48/cont. from p. 48) ish-brown silts (2, 3, 4 and 5: Complex 1a); 6 = whitish-grey silts; 7 = laminated greyish silts; 7a = colluvial silty wedge (6 and 7: 2nd Complex); 8 = dark-brownish silts (3rd Complex); 9 = greyish and greyish-brown silts; 10 = grey silts (9 and 10: 4th Complex). Seven movements occurred in this portion of the Trasacco fault in the last $10,790 \pm 110$ years B.P. (^{14}C ; 12,679-12,003, calibrated ^{14}C age). The last deformation is related to the 1915 event while the oldest occurred immediately after $10,790 \pm 110$ years B.P.

nella Piana del Fucino (di cui si è trattato alla fine del paragrafo dedicato alla stratigrafia), una giacitura come quella descritta (con immersione verso la sponda del lago) deve necessariamente essere il risultato dell'attività della faglia in oggetto. Nel caso specifico del livello 6, all'entità della dislocazione verticale legata alla rottura dei terreni operata dalle faglie, pari a circa 55 cm, dovrebbero essere aggiunti almeno altri 35 cm circa legati alla componente della deformazione responsabile della piegatura dei sedimenti.

Un sondaggio manuale, eseguito circa 20 m a SW della faglia E (Fig. 17a), ha indicato che il tetto del livello 1 si trova a 2,40 m sotto il piano campagna, cioè 75 cm più in basso che nella porzione ribassata a ridosso della faglia E: ciò significa che l'entità della dislocazione verticale effettiva, riferita a questo livello, deve essere circa il doppio di quella legata alla rottura dei terreni dovuta al movimento delle faglie.

Un altro sondaggio, eseguito poco più di 20 m a NE della faglia A ha mostrato che il tetto del livello 1 è posto a circa 60 cm al di sotto del piano campagna. Tenendo conto che l'immersione originale dei sedimenti doveva essere verso il centro del bacino, cioè verso Est, in base alla differenza di quota del tetto del livello 1 nei due sondaggi (-0,6 m sotto il p.c. nel sondaggio a NE; -2,4 m sotto il p.c. nel sondaggio a SW) si può valutare che tale livello dovrebbe essere dislocato di almeno 1,8 m. Di questa entità della dislocazione, solo 70 cm sarebbero legati alla componente fragile della deformazione.

Complessivamente, l'analisi paleosismologica della parete Sud della trincea di Strada 38 ha consentito di individuare almeno sette eventi di dislocazione:

- a) un evento riferibile al 1915;
- b) un evento di età tardo o post-romana;
- c) un evento di età compresa tra il XV-XVI secolo a.C. e il I-II secolo d.C.;
- d) un evento di età più antica di 5.000 anni fa e assai più recente di 7.120 ± 120 anni B.P. (^{14}C ; $7.929-7.526$ età ^{14}C cal.);
- e) due eventi di età compresa tra 7.120 ± 120 anni B.P. (^{14}C ; $7.929-7.526$ età ^{14}C cal.) e 10.790 ± 110 anni B.P. (^{14}C ; $12.679-12.003$ età ^{14}C cal.);
- f) un evento di età poco più recente di (o prossima a) 10.790 ± 110 anni B.P.

7.5 Le trincee di Strada 10

Le quattro trincee di Strada 10 sono state realizzate immediatamente ad Ovest dell'intersezione tra la faglia di Trasacco e la strada suddetta (sito 9 in Fig. 1). Nell'area rappresentata nella figura 18 la traccia del canale principale della bonifica romana interseca quasi perpendicolarmente la faglia. Sondaggi manuali effettuati lungo tutta l'estensione longitudinale del canale hanno permesso di ricostruire in sezione l'andamento della sua base (Fig. 19). Questa ricostruzione è stata facilitata dal forte contrasto tra le caratteristiche litologiche dei sedimenti di riempimento (limi di colore scuro, ricchi in resti algali) e quelle del substrato in cui la base del canale è stata scavata (limi di colorazione giallastra del Complesso 1). La sezione longitudinale del canale collettore di età romana evidenzia un gradino in corrispondenza della faglia di

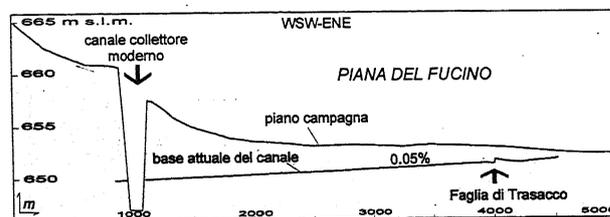


Fig. 19 - Sezione longitudinale del canale collettore romano. E' visibile la deformazione della base del canale in corrispondenza dell'intersezione con la faglia di Trasacco.

Topographic section of the base of the Roman drainage channel. Deformation of the channel base is clearly visible at the intersection with the Trasacco fault.

Trasacco e la variazione dell'immersione della base del canale (verso la sponda del lago ad Ovest della faglia, verso il centro del lago ad Est della stessa; vedi anche Fig. 18). La struttura in esame è quindi responsabile della dislocazione del canale collettore di età romana.

Nella fase di acquisizione dei dati durante lo studio delle pareti delle trincee realizzate, non è stato effettuato alcun campionamento finalizzato all'ottenimento di datazioni col metodo del radiocarbonio. Questa scelta è stata in parte dettata dall'assenza di sedimenti contenenti quantità sufficienti di materiale organico nelle trincee esterne al canale romano (C e D in Fig. 18), in parte, nel caso delle trincee interne al canale romano (A e B in Fig. 18), è stata motivata dal fallimento di datazioni effettuate su campioni estremamente ricchi in materiale organico, prelevati precedentemente alla realizzazione degli scavi. In particolare, questi campioni relativi ai depositi di riempimento del canale romano, per i motivi descritti nel paragrafo dedicato all'inquadramento stratigrafico, hanno fornito età ^{14}C pari a 3.490 ± 70 e 3.390 ± 70 anni B.P. Tali datazioni, praticamente identiche, e quindi valide dal punto di vista analitico, indicano età più vecchie di almeno 1600 anni rispetto a quelle che dovrebbero essere le età reali.

Nell'area in esame è stato eseguito lo scavo di quattro trincee (A, B, C, D in Fig. 18). La trincea A, trasversale all'asse del canale romano, è stata realizzata per motivi stratigrafici (definire nel dettaglio quali sono i sedimenti lacustri in cui il canale è stato scavato, chiarire la geometria deposizionale dei sedimenti di riempimento) e per definire con sicurezza l'ubicazione delle sponde.

7.5.1 Trincea C

Le trincee C (Fig. 20) e D hanno indicato situazioni stratigrafiche e strutturali del tutto identiche: per tale motivo verrà illustrata solo la trincea C che, rispetto alla D, è caratterizzata da lunghezza e profondità maggiori.

Stratigrafia

Per ciò che riguarda la trincea C di Figura 18, i sedimenti più antichi messi in evidenza (Fig. 20) sono rappresentati da limi argillosi grigio-bluastri (1), con colorazione giallastra nella parte alta. In prossimità del tetto di questi sedimenti è presente un livello di tephra potente circa 2 cm, identico a quello rinvenuto nel sito di

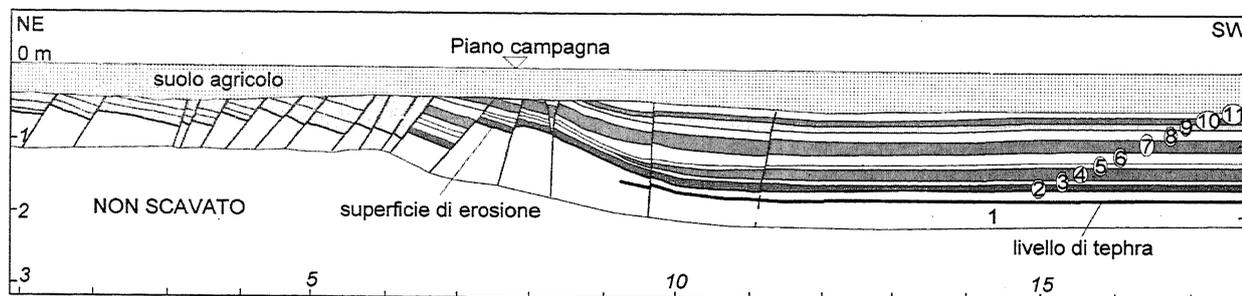


Fig. 20 - Sezione geologica della parete S della trincea realizzata in prossimità di Strada 10, in corrispondenza della faglia di Trasacco, circa 2 m a Sud della traccia del canale collettore romano (sito 9 in Fig. 1; trincea C in Fig. 18). Legenda: 1 = limi argillosi grigio-azzurri, di colorazione giallastra al tetto (Complesso 1); 2, 3, 4, 5, 6 = alternanze di limi grigio-chiari e grigio-marroni (Complesso 1a); 7 = limi laminati di colore biancastro con sottili intercalazioni di limi grigio-scuri (Complesso 2); 8, 9, 10, 11 = limi grigio-marroni con intercalazioni di limi grigio-chiari (Complesso 3). L'analisi di questa sezione ha consentito l'individuazione di sei eventi di dislocazione in un intervallo temporale compreso tra circa 14.000 anni fa (età ^{14}C di riferimento 14.180 ± 260 , vedi nota 8; $17.616-16.347$ età ^{14}C cal.) ed il XVI-XV secolo a.C.

Geological section of the southern wall of the trench excavated across the Trasacco fault, close to Strada 10 (site 9 in Fig. 1) This trench was located 2 m to the south of the edge of the Roman channel (trench C in Fig. 18). Legend: 1 = greyish-blue (yellowish at the top) clayey silts (1st Complex); 2, 3, 4, 5, 6 = alternating brownish-grey and light-grey silts (Complex 1a); 7 = laminated whitish silts with thin interbeds of dark-grey silts (2nd Complex); 8, 9, 10, 11 = brownish-grey silts with light-grey silt interbeds (3rd Complex). Six events occurred between 14,000 years B.P. ($14,180\pm 260$ B.P., ^{14}C age; $17,616-16,347$, ^{14}C cal. age) and the 16th-15th century B.C. have been recognized.

Strada 38, e riferibile a circa 14.000 anni fa (età ^{14}C di riferimento 14.180 ± 260 , vedi nota 9; $17.616-16.347$ età ^{14}C cal.). I sedimenti in oggetto corrispondono quindi al Complesso 1 descritto in precedenza.

La serie di sedimenti che poggia sui limi 1 appare molto simile a quella rilevata al sito di Strada 38.

La porzione che comprende i sedimenti 2-3-4-5-6 in Figura 20 è costituita da un'alternanza di livelli limosi ben stratificati di colore grigio-marrone con rare intercalazioni grigio chiare e dovrebbe corrispondere al Complesso 1a.

La porzione che comprende i sedimenti indicati come 7 in Figura 20 è costituita da limi laminati, prevalentemente biancastri, con sottili intercalazioni di limi più scuri, e dovrebbe corrispondere al Complesso 2.

La porzione più alta della serie comprende i sedimenti indicati come 8-9-10-11 in Figura 20 ed è costituita

da limi ben stratificati di colore grigio-marrone, cui si intercalano livelli di limi più chiari laminati. Nell'insieme essa dovrebbe corrispondere al Complesso 3.

Non sono stati individuati i sedimenti posteriori alla bonifica romana essendo questi, molto probabilmente, interamente compresi nel livello dell'aratura.

Tettonica

Nelle trincee C e D i sedimenti appaiono deformati sia in maniera continua che fragile (vedi anche Fig. 21). In una fascia di deformazione continua presente nel settore centrale della parete di trincea schematizzata in Figura 20 si assiste al brusco sollevamento verso NE dei vari livelli sedimentari. In questa fascia sono altresì presenti alcune faglie che dislocano con piccolissimo rigetto la serie.

A NE di questo settore è presente una serie di almeno 14 faglie rotazionali, orientate anch'esse NW-SE, responsabili di dislocazioni di piccola entità.

In corrispondenza della fascia caratterizzata da deformazione continua, alcuni dei livelli sedimentari descritti in precedenza si assottigliano nella porzione sollevata (livelli 2, 4, 6, 7, 9 in Fig. 20). Altri (3, 5, 8, 10

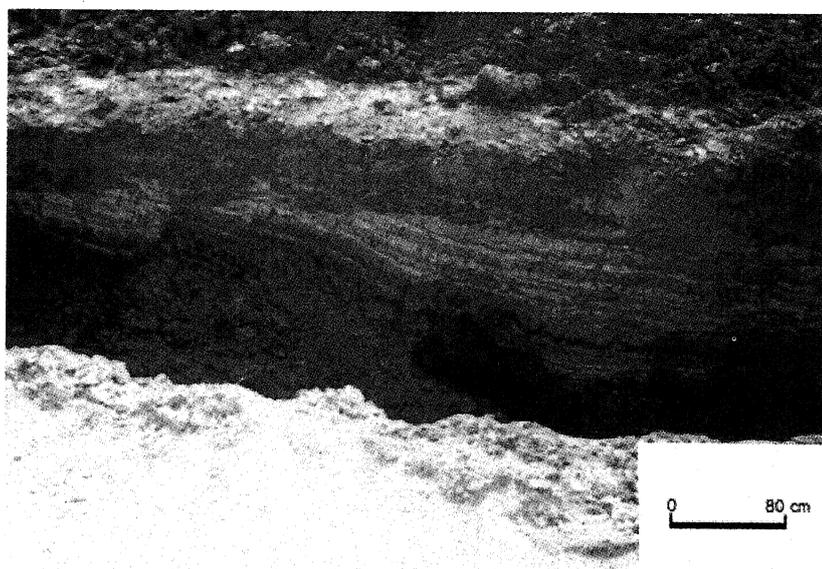


Fig. 21 - Parete S della trincea in prossimità di Strada 10 (sito 9 in Fig. 1; trincea C in Fig. 18) durante una fase dello scavo. Sono evidenti la deformazione che comporta il ribassamento del settore occidentale (destra dell'osservatore) con una blanda flessura ed una faglia il cui piano presenta immersione verso Est.

View of the southern wall of trench C (Fig. 18). The warping of the lacustrine succession and the lowering of the western sector are evident.

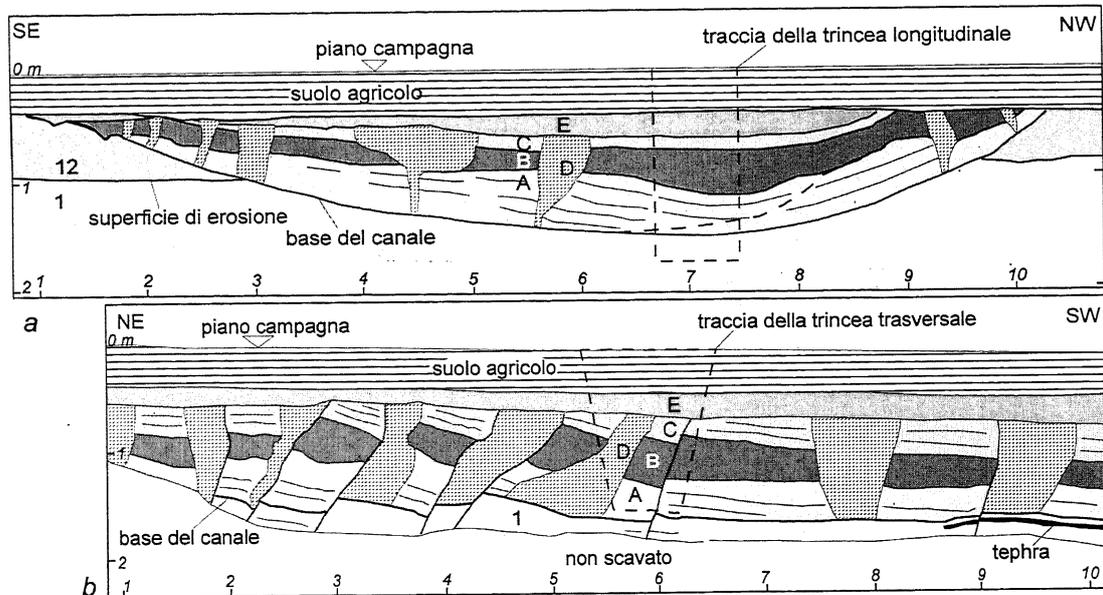


Fig. 22 - Sezioni geologiche delle pareti SE (B in Fig. 18) e SW (A in Fig. 18) delle trincee realizzate in prossimità di Strada 10, in corrispondenza della faglia di Trasacco (sito 9 in Fig. 1), trasversalmente (a) e parallelamente (b) all'asse del canale collettore romano. Legenda: 1 = limi argillosi grigio-azzurri, di colore giallastro al tetto (Complesso 1); 12 = limi di colore grigio-biancastro (Complessi 1a, 2, 3); A = limi organici di colore grigio scuro; B = limi ricchi di resti algali; C, E = limi di colore grigio; D = sedimenti sabbioso-limosi destrutturati (riempimento delle fratture che interessano la successione A-B-C). I livelli 1 e 12 sono gli stessi della sezione di Fig. 20. L'analisi di questa sezione ha consentito il riconoscimento di due eventi di dislocazione. Di questi, il più recente è riferibile al 1915, il più antico ad un'età tardo-romana o alto-medievale.

Geological sections of the SE (B in Fig. 18) and SW (A in Fig. 18) walls of the trenches excavated across the Trasacco fault, close to Strada 10 (site 9 of Fig. 1), transverse (a) and parallel (b) to the Roman channel axis. Legend: 1 = greyish-blue to yellowish (at the top) clayey silts (1st complex); 12 = whitish-grey silts (Complex 1a, 2nd and 3rd Complex); A = dark-grey silts rich in organic matter; B = silts rich in algal remains; C, E = greyish lacustrine silty levels; D = unstructured sandy-silty deposits filling the fractures which affect the A-B-C succession. Levels 1 and 12 are the same as in Fig. 20. In these sections, one displacement event has been recognized after the filling of the Roman channel and a possible second one, related to the 1915 event, may be responsible for the minor thickening of the ploughed soil towards the SW.

in Fig. 20), pur essendo evidentemente interessati dalla deformazione, conservano lo stesso spessore sia nella zona non deformata che in quella deformata. In generale, poiché sezioni seriali effettuate in corrispondenza della stessa parete di trincea in esame hanno evidenziato la costanza dello spessore dei vari livelli sedimentari parallelamente all'asse della struttura analizzata, si ritiene che il cambiamento di spessore dei livelli sedimentari in direzione perpendicolare a quest'asse sia da riferire a distinti eventi deformativi avvenuti nel corso della o poco precedentemente alla sedimentazione dei livelli stessi.

Complessivamente, comunque, l'entità della deformazione appare assai limitata: la superficie di erosione posta al tetto del Complesso 1, datata a circa 11.000 anni (poco più di 12.000 se si considerano le età calibrate), appare dislocata di circa 1 m.

Considerando l'ispessimento di un livello sedimentario tra la parte sollevata e quella ribassata dalla deformazione come elemento diagnostico di almeno un evento deformativo di età prossima a quella della sedimentazione del livello stesso, gli eventi succedutisi potrebbero essere almeno cinque. Di questi, tre si sarebbero verificati nel corso della deposizione del Complesso 1a, uno nel corso della deposizione del Complesso 2 e l'ultimo nel corso della deposizione della parte bassa del Complesso 3.

La mancanza di sedimenti più recenti del Complesso 3 non permette di rilevare se vi siano state deformazioni di epoca storica o meno. Si può comunque

osservare che lo spessore dell'aratura al di sopra dei sedimenti presenti nella porzione rialzata è, in media, di circa 40 cm, mentre nella porzione ribassata è in media pari a circa 55 cm. Questa differenza di spessore potrebbe indicare la formazione di un dislivello in superficie successivamente spianato con la lavorazione agricola. In questo caso, l'evento responsabile della deformazione deve essere necessariamente quello del 1915.

Il livello di tephra databile attorno a 14.000 anni fa (età ^{14}C di riferimento 14.180 ± 260 , vedi nota 8; $17.616-16.347$ età ^{14}C cal.) è anch'esso coinvolto nella deformazione che comporta il sollevamento dei livelli sedimentari verso NE. Questo livello, leggermente piegato, si assottiglia fino a chiudersi a lente nell'area ove aumenta la pendenza dei vari livelli sedimentari. Non essendo stata notata al tetto del tephra alcuna superficie di erosione, questa chiusura potrebbe indicare che, al momento della sua deposizione, la parte nord-orientale della struttura era topograficamente più elevata della adiacente parte sud-occidentale. Ciò presupponebbe una deformazione immediatamente precedente alla deposizione del tephra stesso.

7.5.2 Trincee A e B

Le trincee eseguite all'interno e trasversalmente al canale romano (A e B in Fig. 18), hanno evidenziato che questo fu scavato nei sedimenti precedentemente descritti della trincea C di Figura 18. Queste trincee hanno

altresì permesso di individuare in maniera univoca l'andamento e le quote del fondo del canale (Fig. 22). I sedimenti di riempimento del canale (Figg. 22, 23), in parte contemporanei, in parte posteriori alle fasi di funzionalità del canale, sono più recenti del II sec. d.C. (periodo nel quale furono terminati i lavori della bonifica romana).

Stratigrafia

I primi sedimenti di riempimento sono rappresentati da un sottile (1-2 cm) livello di sabbie grossolane, formate per lo più da minerali vulcanici, contenenti ghiaia calcarea minuta, con elementi ben arrotondati (non rappresentato in Fig. 22a). Su questo appoggiano dei limi organici grigi piuttosto scuri (A in Fig. 22) che passano a limi torbosi contenenti abbondantissimi resti di alghe o di piante acquatiche (B). I limi torbosi sono coperti da sedimenti lacustri di colore grigio chiaro (C), al tetto dei quali sono presenti limi biancastri (E).

Questa successione sedimentaria è interrotta in più punti da fratture ad andamento assai irregolare (Figg. 22 e 23), riempite di limi destrutturati di colore grigio giallastro (D), la cui messa in posto appare più antica dei limi biancastri E che costituiscono i più recenti sedimenti affioranti nelle sezioni in oggetto. La direzione delle fratture è all'incirca E-W, motivo per cui la separazione tra le pareti delle stesse, sulle sezioni NW-SE e NE-SW, appare accentuata. Per ciò che concerne i sedimenti D, essendo state osservate situazioni simili a quella schematizzata in Figura 22b in altri scavi dell'alveo del lago storico, ed avendo trovato assieme ai sedimenti destrutturati anche evidenti resti di apparati radicali di piante, si ritiene che i volumi occupati dai sedimenti F ospitassero in passato le radici di piante.

Tettonica

Dalla Figura 22b si desume che il fondo del canale è nettamente deformato. Anche in questo caso, come in quello relativo alla trincea di Strada 38 ed in quello relativo alla sezione di Figura 20, la strutturazione complessiva è il risultato di deformazione sia fragile che continua. Quest'ultima è, con modalità simili a quelle evidenziate nel caso della sezione della Figura 20, responsabile del sollevamento verso NE della base del canale e dei sedimenti che lo riempiono (Fig. 22b).

Appena a NE del settore interessato da questo sollevamento appare una serie di almeno 4 foglie caratteriz-

zate da piccoli rigetti, con una dislocazione totale, a causa dei movimenti rotazionali, quasi nulla.

La base del canale presenta uno spostamento verticale complessivo pari a circa 0.30-0.35 m. La stessa entità dello spostamento riguarda i sedimenti A e B, nonché la base dei sedimenti C.

Questa deformazione è il risultato di almeno un evento di dislocazione successivo alla realizzazione del canale romano. Esso ha avuto luogo quando il canale risultava già parzialmente riempito, immediatamente dopo la sedimentazione di un ridotto spessore di limi che testimoniano la nuova fase lacustre successiva al prosciugamento di età romana. Poiché la funzionalità delle opere idrauliche è probabilmente terminata con la decadenza dell'impero romano (D'Amato, 1980), già nel V-VI secolo il lago doveva essere tornato al suo livello naturale. Considerando che la deformazione analizzata interessa il primo episodio lacustre all'interno del canale romano, è possibile che essa sia occorsa in un momento prossimo al V-VI secolo d.C.

Un secondo movimento della struttura in esame potrebbe essere testimoniato dall'aumento di spessore verso SW del suolo agrario, riferibile al terremoto del 1915.

7.5.3 Sintesi dei dati relativi al sito di Strada 10

Nel complesso, gli eventi di dislocazione rilevati in corrispondenza delle sezioni di Strada 10 sarebbero in numero di otto. Di questi, uno sarebbe di età poco precedente a 14.000 anni fa (età ^{14}C di riferimento 14.180 ± 260 , vedi nota 8; $17.616-16.347$ età ^{14}C cal.), sette sarebbero compresi negli ultimi 11.000-12.000 anni. Di questi eventi, tre avrebbero un'età compresa tra 10.790 ± 110 anni B.P. (^{14}C ; $12.679-12.003$ età ^{14}C cal.) e 7.120 ± 120 anni B.P. (^{14}C ; $7.929-7.526$ età ^{14}C cal.), uno avrebbe un'età compresa tra circa 7.000 anni fa (circa 7.500 anni fa se si considerano le età calibrate) e circa 5.000 anni fa (poco più se si considerano le età calibrate), un altro avrebbe un'età poco più recente del XVI-XV secolo a.C., un altro avrebbe un'età da tardo-romana a post-romana, l'ultimo sarebbe riferibile al 1915.

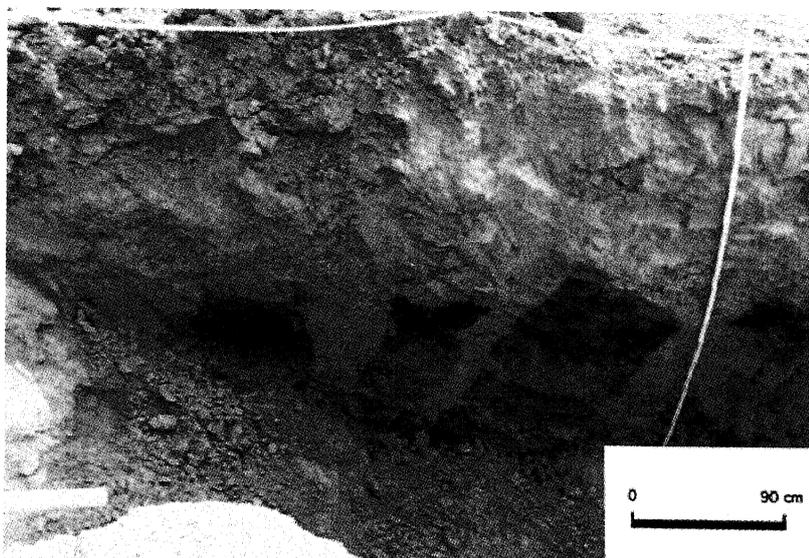


Fig. 23 - Particolare della parete SE della trincea in prossimità di Strada 10 (sito 9 in Fig. 1; trincea B in Fig. 18, parallela all'asse del canale di età romana), durante una fase dello scavo. Sono visibili porzioni della successione che costituisce il riempimento del canale (A, B, C in Fig. 22) separate da fratture riempite di sedimenti destrutturati (D in Fig. 22).

Partial view of the southeastern wall of trench B (Fig. 18) during excavation. Part of the succession filling the channel is evident (A, B, C in Fig. 22), separated by fractures filled by unstructured deposits (D in Fig. 22).

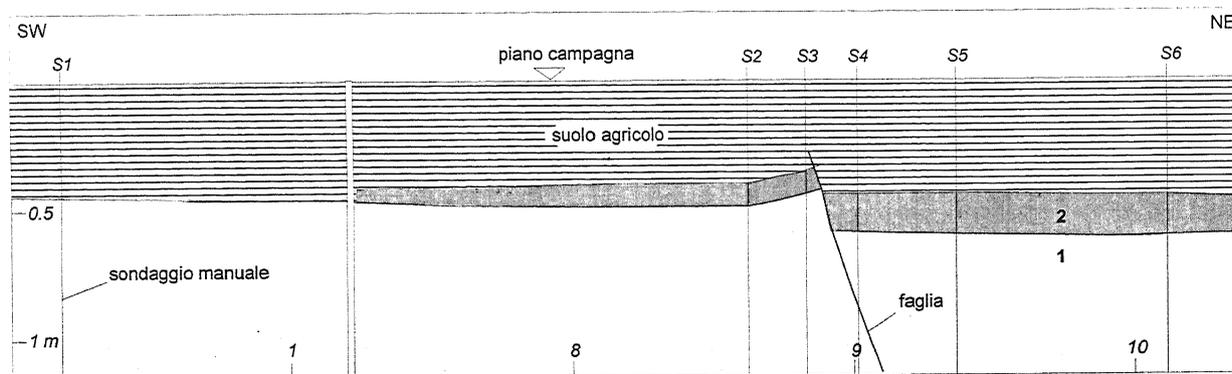


Fig. 24 - Sezione geologica interpretativa ricostruita in base ai dati ottenuti dai sondaggi manuali effettuati presso Strada 42, in corrispondenza della faglia di Luco dei Marsi (sito 10 in fig. 1). Legenda: 1, limi argillosi grigio-azzurri, di colore giallastro al tetto, contenenti livelli di tephra con abbondanti cristalli di biotite; 2, limi grigio-scuri e limi sabbiosi biancastri. S1-S6 sondaggi manuali.

Interpretative geological section across the Luco dei Marsi fault near Strada 42 (site 10 in fig. 1). The data, obtained by means of hand-boreholes, indicates a displacement of the historical lacustrine silts and sands and the thickening of the ploughed soil across the fault. Legend: 1, greyish-blue clayey silts, yellowish at the top, containing coarse biotite tephra levels; 2, dark-greyish silts and whitish sandy silts. S1-S6, hand-borehole.

7.6 Faglia di Trasacco: dati complessivi sugli eventi di dislocazione

L'analisi paleosismologica condotta nelle varie trincee realizzate in corrispondenza della faglia di Trasacco ha reso possibile la scansione dei vari eventi di dislocazione ad essa riferibili negli ultimi 11.000-12.000 anni circa. Nel sito di Strada 10 è inoltre presente l'indizio di un evento dislocativo prossimo o di poco precedente a circa 14.000 anni fa (età ^{14}C di riferimento 14.180 ± 260 , vedi nota 8; $17.616-16.347$ età ^{14}C cal.). Considerando gli eventi degli ultimi 11.000-12.000 anni, essi sono così riassumibili: – Evento del 1915;

- Evento posteriore al V - VI sec. d.C.;
- Evento di poco successivo al XV - XVI sec. a.C.;
- Evento di poco precedente a 5.000 anni fa;
- Evento più recente di 10.790 ± 110 anni B.P. (^{14}C ; $12.679-12.003$ età ^{14}C cal.), di età probabilmente prossima a 7.120 ± 120 anni B.P. (^{14}C ; $7.929-7.526$ età ^{14}C cal.).
- Evento di età compresa tra 10.790 ± 110 anni B.P. e 7.120 ± 120 anni B.P.;
- Evento di età prossima o di poco successiva a 10.790 ± 110 anni B.P.

8. ANALISI PALEOSISMOLOGICHE LUNGO LA FAGLIA DI LUCO DEI MARSII

Già segnalata da Giraudi (1986; 1988) che ha ritenuto che ad essa fosse riferibile attività in tempi storici, la faglia di Luco dei Marsi (Fig. 1) è stata oggetto recentemente di specifici studi paleosismologici. Questi studi si sono avvalsi delle sezioni offerte dallo scavo dell'acquedotto realizzato per il rifornimento idrico dell'area industriale di Avezzano che interseca la faglia nei pressi di Strada 45. Si sono avvalsi altresì di una linea di sondaggi a mano eseguiti in corrispondenza di Strada 42, in

prossimità di Luco dei Marsi, ove più evidente è la traccia superficiale della faglia.

8.1 Il sito di Strada 42

Sono stati eseguiti sondaggi a mano secondo due linee trasversali alla struttura (sito 10 in Fig. 1; Fig. 24). La serie stratigrafica, evidenziata dai sondaggi effettuati fino a circa 3 m dal piano campagna, appare piuttosto semplice, in quanto formata essenzialmente da due soli differenti tipi di sedimenti.

I sedimenti più antichi sono costituiti da limi argillosi grigi (1 in Fig. 24), di colore giallastro al tetto, contenenti livelli di tephra a granulometria grossolana, con cristalli di biotite di dimensioni fino al mezzo centimetro. Questi sedimenti sono correlabili al Complesso 1 descritto nel capitolo dell'inquadramento stratigrafico dei depositi lacustri recenti presenti nella porzione centro-meridionale della Piana del Fucino; la loro età sarebbe superiore a circa 20.000 anni fa. Al di sopra dei sedimenti 1 sono presenti limi grigi piuttosto scuri e limi sabbiosi biancastri (2 in Fig. 24). Questi costituiscono l'episodio lacustre più recente presente al di sotto dell'aratura e sono riferibili all'ultima attività deposizionale del lago precedentemente alla bonifica ottocentesca. Le loro caratteristiche litologiche li rendono del tutto simili ai sedimenti del Complesso 4 descritti nel paragrafo dedicato all'inquadramento stratigrafico.

I sondaggi hanno permesso di rilevare che la faglia ha prodotto la dislocazione dei sedimenti riferibili al Complesso 4. I movimenti della struttura sono perciò avvenuti in epoca storica. La dislocazione complessiva della base dei sedimenti storici è pari a 15 cm. Dalla Figura 24 è possibile altresì osservare che lo spessore del suolo agrario nella porzione rialzata della faglia risulta limitato a circa 35 cm, mentre nella porzione ribassata arriva a 45 cm. Questo dato sembrerebbe indicare una dislocazione pari a circa 10 cm successiva alla bonifica ottocentesca del lago, vale a dire riferibile al terremoto del 1915, in base a quanto osservato nella nota 10.

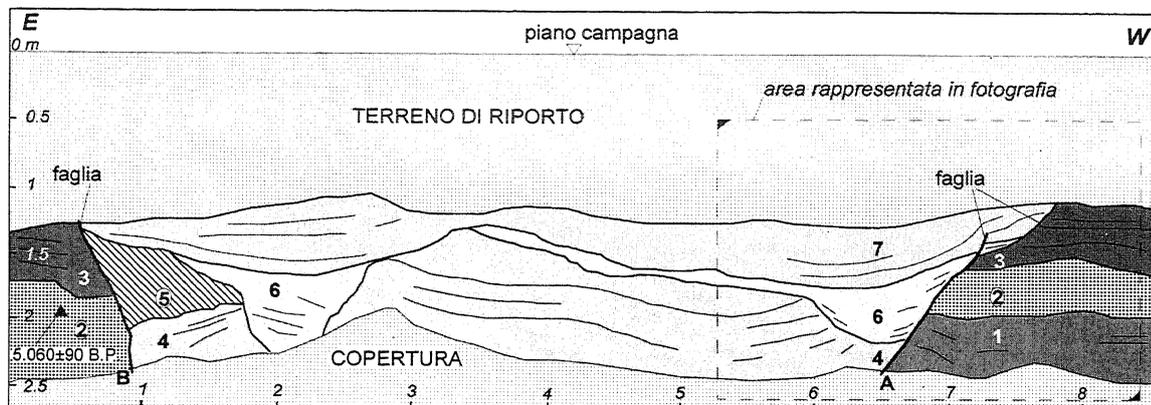


Fig. 25 - Sezione geologica della parete S della trincea realizzata in prossimità di Strada 45 per la posa in opera di un acquedotto (sito 11 in Fig. 1). Legenda: 1 = sabbie grossolane; 2 = depositi colluviali con varie granulometrie; 3 = limi sabbiosi grigi laminati; 4 = sabbie e sabbie limose; 5 = cuneo colluviale costruito a spese dei livelli 2 e 3; 6 = sabbie fini, limose, grigio-chiare; 7 = sabbie medie di colore biancastro. Il riquadro evidenzia l'area cui si riferisce la fotografia riportata in Fig. 26. L'analisi della sezione, nella quale le faglie A e B formano una evidente struttura tipo graben, ha consentito di individuare due eventi di dislocazione. Di questi, il più recente è riferibile al terremoto del 1915, il più antico ad un evento occorso in epoca successiva alla bonifica di età romana.

Geological sections of the southern wall of the aqueduct trench excavated across the Luco dei Marsi fault, close to Strada 45 (site 11 of Fig. 1). Legend: 1 = medium to coarse grained sands; 2 = colluvial deposits; 3 = laminated greyish sandy silts; 4 = sands and silty-sands; 5 = colluvial wedge (from levels 2 and 3); 6 = whitish silty-sands; 7 = whitish medium-grained sands. The dashed rectangle represents the area of the photograph in Fig. 26. The deformations, responsible for a small graben-like structure, affect lacustrine deposits belonging to the 2nd, 3rd and 4th sedimentary complexes (Fig. 13). Two displacement events were detected: the most recent is related to the 1915 event while the oldest occurred after the Roman drainage of the lake.

8.2 Analisi paleosismologica presso Strada 45

Il citato scavo per la messa in opera dell'acquedotto ha evidenziato, in un breve tratto di trincea con direzione circa E-W, verso l'estremità occidentale di Strada 45 (circa 200 m dal raccordo con la Strada Circonfucense; sito 11 in Fig. 1), la presenza di sedimenti lacustri e colluviali chiaramente deformati.

8.2.1 Stratigrafia

I sedimenti più antichi affioranti (Fig. 25) sono costituiti da sabbie medie di colore giallo-biancastro (1), stratificate, al tetto delle quali è presente prima una sottile intercalazione di colluvio limoso-argilloso, poi un livello colluviale (2) di spessore assai maggiore. La correlazione di questi sedimenti con la successione tipica del Complesso 2 è stata resa possibile dal rilevamento dettagliato di tutto lo scavo dell'acquedotto, e dalla continuità laterale degli orizzonti in oggetto fino ai siti per i quali sono disponibili datazioni ^{14}C o con metodi archeologici. Il livello colluviale superiore è in continuità con quello all'interno del quale è stato rinvenuto un frammento vegetale ligneo che ha fornito, mediante datazione ^{14}C , un'età pari a 5.060 ± 90 anni B.P. (^{14}C ; 5.894-5.568 età ^{14}C cal.).

Al tetto del colluvio 2 è presente una superficie di erosione che, a poche decine di metri di distanza dal sito in oggetto, sottende un deposito di spiaggia lacustre sul quale sono state rinvenute ceramiche attribuibili al XV-XVI sec. a.C. (Petitti, com. pers.).

Al di sopra di questa superficie di erosione sono presenti limi sabbiosi laminati grigio chiari e scuri (3 in Fig. 25), che appaiono in continuità con i sedimenti del Complesso 3, nella cui parte alta sono stati rinvenuti frammenti di ceramica romana di età repubblicana.

I sedimenti 1, 2 e 3 sono troncati, verso la parte centrale dello schema di Figura 25 da due faglie immergenti rispettivamente verso W e verso E. La struttura così definita ricorda quella di un graben di piccole dimensioni.

All'interno del graben di Figura 25 affiorano sabbie medie e sabbie limose giallo-biancastre sottilmente laminate (4). Presso la faglia B, è presente un cuneo colluviale formato dall'insieme dei limi sabbiosi e argillosi (5 in Fig. 25) provenienti dai livelli 2 e 3 (e forse dal livello 4 non più affiorante al tetto di 3). All'interno di questo cuneo colluviale è stato rinvenuto un frammento di mattone. Al tetto dei sedimenti 4 e 5 è presente una superficie di erosione sulla quale appoggiano sabbie fini limose grigio chiare, contenenti intercalazioni di sottili orizzonti colluviali limoso-argillosi (6 in Fig. 25) provenienti dal livello 5.

Un particolare assai importante, dal punto di vista dell'interpretazione della successione degli eventi di dislocazione, è rappresentato dal fatto che i sedimenti 6 appoggiano verso W direttamente sul piano di faglia A. Questo rapporto tra la faglia ed i sedimenti del livello 6 non consente di interpretare la brusca terminazione della base di questi verso W, in corrispondenza della struttura, come il risultato del movimento della struttura stessa.

Il tetto affiorante della serie è costituito da sabbie medie biancastre (7 in Fig. 25), mal stratificate, che appoggiano su una blanda superficie di erosione scolpita al di sopra dei sedimenti 6.

I depositi 4, 6 e 7 costituiscono il Complesso 4 e sono perciò di età compresa tra il periodo post-romano e le fasi sedimentarie immediatamente precedenti alla bonifica ottocentesca del lago del Fucino.

8.2.2 Tettonica

Come già osservato, due faglie sono responsabili della dislocazione della successione stratigrafica descrit-

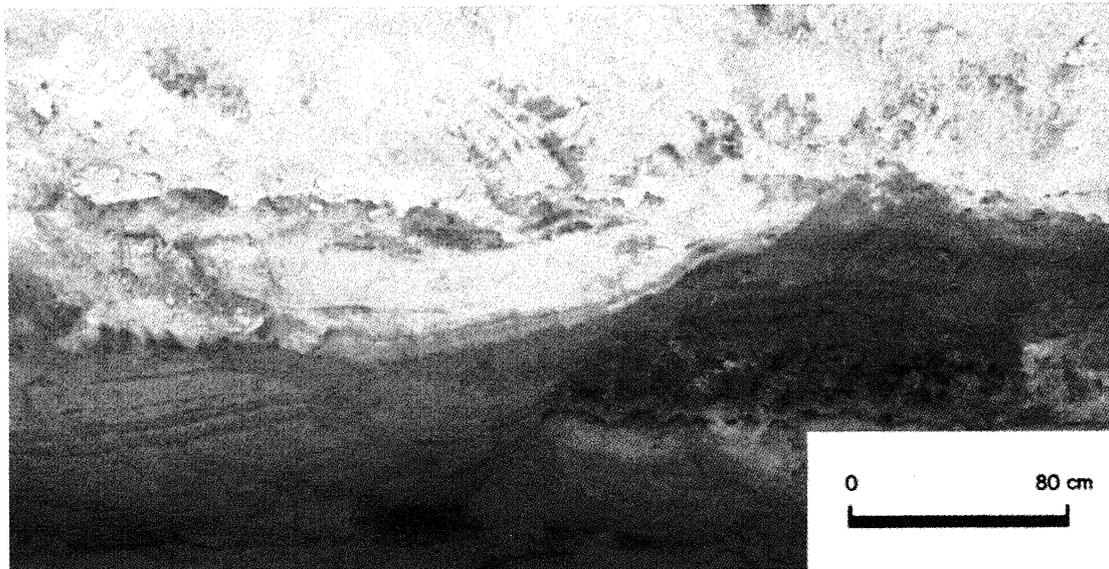


Fig. 26 - Particolare della parete S dello scavo realizzato per la posa in opera dell'acquedotto realizzato per l'approvvigionamento idrico dell'area industriale di Avezzano, in prossimità di Strada 45 (sito 11 in Fig. 1). La fotografia si riferisce all'area evidenziata in Fig. 25.

View of the southern wall of the aqueduct trench across the Luco dei Marsi fault, close to Strada 45 (site 11 of Fig. 1; Fig. 25). The photograph represents the area highlighted by the dashed rectangle in Fig. 25.

ta. La faglia più occidentale (A) ha direzione N45°W, pendenza del piano di faglia variabile dai 50° ai 60° e ribassa la porzione orientale (vedi anche Fig. 26). La faglia più orientale (B) ha direzione N65°W, piano di faglia con andamento assai irregolare con inclinazione media di circa 65°-70°, e ribassa la porzione occidentale. Poiché l'orientazione dello scavo è circa E-W, molto obliqua rispetto alla direzione delle strutture, la pendenza osservata dei piani di faglia risulta, ovviamente, minore di quella reale.

La faglia A della Figura 25 appare ben allineata con la proiezione verso NW del tratto della faglia di Luco individuato presso Strada 42.

La faglia B della Figura 25 deve avere, al contrario, una lunghezza assai limitata o un andamento piuttosto irregolare, se, come verificato, a circa 200 m a SE del sito nel quale è stata rinvenuta, non taglia nuovamente la successione sedimentaria affiorante sulle pareti della trincea dell'acquedotto (orientata NNW-SSE).

Le due faglie sono responsabili della dislocazione dell'intera successione sedimentaria affiorante, compresa almeno la parte basale dei sedimenti 7 (il forte rimaneggiamento di questi sedimenti, fino a 1,2 m dal piano campagna, avvenuto in un momento precedente allo scavo della trincea studiata, non permette di valutare la dislocazione della porzione sommitale degli stessi). La più recente attività delle faglie deve comunque essere posteriore o contemporanea alle ultime fasi deposizionali del lago precedenti alla bonifica ottocentesca. Perciò, in base a quanto osservato nella nota 10, è assai probabile che l'ultima dislocazione risalga al terremoto del 1915. La dislocazione imputabile a tale evento, non esattamente valutabile, appare comunque uguale o superiore a 15 cm lungo la faglia A.

Un altro movimento lungo le faglie deve essere avvenuto dopo la sedimentazione del livello 4. Questo evento, per l'inquadramento stratigrafico di cui sopra, deve essere più recente della bonifica romana. I sedimenti 4 sono dislocati di un'entità pari ad almeno 1,2 m. A

seguito di questo evento si sarebbe depositato il cuneo coluviale 5. Anche la evidente deformazione dei sedimenti 4, la cui laminazione è piegata a formare blande sinclinali ed anticlinali, deve risalire allo stesso evento.

8.3 Faglia di Luco dei Marsi: dati complessivi sulle fasi di dislocazione

Alla faglia di Luco dei Marsi possono essere riferiti almeno due eventi di dislocazione. Il primo è posteriore alla bonifica romana. Il secondo, che interessa i sedimenti di deposizione immediatamente precedente all'ultima bonifica del lago, è riferibile al terremoto del 1915.

9. SINTESI DEI DATI RELATIVI ALLE DISLOCAZIONI REGISTRATE LUNGO LE FAGLIE STUDIATE

Dall'inquadramento cronologico dei movimenti (Tab. 3; Figg. 27 e 28) appare evidente la contemporaneità di questi, almeno per gli ultimi eventi registrati, sulle quattro distinte faglie studiate. Questa contemporaneità di dislocazione è molto netta per il terremoto del 1915, è altresì evidente (a parte la faglia della S.S. Marsicana, per la quale i dati sono più lacunosi) per l'evento immediatamente precedente a quello del 1915, in riferimento al quale le faglie sono responsabili di una dislocazione di sedimenti di deposizione successiva alla bonifica romana. Considerando il ruolo secondario delle faglie di Trasacco e Luco dei Marsi (lunghezza rispettivamente 8 e 4.5 km) nella attività tettonica recente dell'area in esame, chiaramente condizionata dall'attività delle faglie del bordo orientale (Galadini & Messina, 1994), è probabile che anche le altre dislocazioni oloceniche siano contemporanee lungo le varie faglie analizzate. Sintetizzando l'insieme delle informazioni relative a tutte le faglie è perciò possibile ottenere un quadro più completo degli eventi paleosismici responsabili di dislocazioni cosismi-

che nella Piana del Fucino nel corso dell'Olocene. Informazioni discontinue possono essere anche ottenute per il periodo compreso tra circa 32.000 anni fa e l'inizio dell'Olocene. Ulteriori dati utili alla definizione della successione degli eventi paleosismici derivano dalla datazione di rotture di speleotemi nelle grotte fucensi di cui in Giraudi & Frezzotti (1997).

Per ciò che concerne l'aspetto cronologico, come è possibile desumere dalla Tabella 3 e dalle Figure 27 e 28, le due successioni di eventi ricostruite considerando le datazioni ^{14}C di laboratorio e le datazioni ^{14}C calibrate non presentano sostanziali differenze. Se si considerano invece i risultati che derivano dall'utilizzo del metodo della termoluminescenza su frammenti ceramici, è osservabile che essi divergono (in misura maggiore per date più antiche) dalle datazioni ottenute tramite determinazione archeologica. A questo proposito possono essere citati gli esempi di Casali d'Aschi (sito 5 in Fig. 1) e della trincea alla base del versante di Colle delle Cerese (sito 2 in Fig. 1). Nel primo caso, la datazione 2.783 ± 213 anni B.P. (metodo della termoluminescenza) si riferisce a frammenti ceramici datati per via archeologica a 3.200-3.700 anni fa. Nel secondo caso frammenti ceramici la cui datazione col metodo della termoluminescenza fornirebbe età pari a 550 ± 147 d.C. e 447 ± 142 d.C. sono attribuiti al I-II secolo d.C. per via archeologica.

Tenendo presente quanto osservato sugli aspetti cronologici, la prima dislocazione (o insieme di dislocazioni) evidenziata può avere un'età compresa tra 32.520 ± 500 anni B.P. e circa 20.000 anni fa (sito 5, Casali d'Aschi), una seconda appare databile a circa 19.100 ± 650 anni B.P. (sito 1, faglie della S.S. Marsicana). Almeno un'altra dislocazione deve essere avvenuta nel periodo compreso tra circa 20.000 e 11.000-12.000 anni fa (sito 5, Casali d'Aschi), forse circa 14.000 anni fa (circa 17.000 anni fa se si considera l'età calibrata), in base ai dati del sito 9.

Negli ultimi 11.000-12.000 anni sono stati evidenziati complessivamente sette eventi di dislocazione.

Il più antico di questi appare databile a poco meno di 10.790 ± 110 anni B.P. (^{14}C ; $12.679-12.003$ età ^{14}C cal.) ed è rintracciabile nei siti 8 (Strada 38) e 9 (Strada 10).

Altre due dislocazioni sono evidenti sulla faglia di Trasacco (di queste almeno una è registrata anche su quella San Benedetto dei Marsi-Gioia dei Marsi) sono databili al periodo compreso tra 10.790 ± 110 anni B.P. e 7.120 ± 120 anni B.P. (^{14}C ; $7.929-7.526$ età ^{14}C cal.). Di questi, l'evento più recente potrebbe essere databile ad un momento prossimo alla data più recente di quelle riportate ed essere forse la causa della rottura degli speleotemi avvenuta nella Grotta Continenza di Trasacco in un periodo compreso tra 6.880 ± 115 anni B.P. (^{14}C ; $7.916-7.471$ età ^{14}C cal.) e 6.000-6.200 anni fa (Giraudi & Frezzotti, 1997). Tale evento, collocabile precisamente dal punto di vista cronologico grazie ai siti 7 (Strada 37), 8 (Strada 38) e 9 (Strada 10), verrà indicato come prima fagliazione neolitica.

Un'ulteriore dislocazione, avvenuta in un periodo prossimo a circa 5.000 anni fa (circa 5.500-5.700 anni fa se si considerano le età calibrate), è evidente nel sito 7 (Strada 37) lungo la faglia di Trasacco (eventi a questo rapportabili sono stati anche osservati nei siti 8 e 9). L'evento da riferire probabilmente ad un momento suc-

cessivo a 5.340 ± 100 anni B.P. (^{14}C ; 6.198-5.723 età ^{14}C cal.) nel sito 4 (Molini di Venere) potrebbe essere lo stesso registrato lungo la faglia di Trasacco. Questa dislocazione, indicata come seconda fagliazione neolitica, potrebbe altresì essere responsabile dei crolli in grotte dell'area fucense osservati da Radmilli (1981) e riferiti a 5.500-4.200 anni fa dall'autore.

Una dislocazione successiva sarebbe avvenuta in un momento prossimo al XVI-XV secolo a.C. (datazione tramite determinazione archeologica). Questo evento, che verrà indicato come fagliazione dell'Età del Bronzo, è evidente sia nel sito 5 (Casali d'Aschi) che nei siti 7 e 9 (Strada 37 e Strada 10). Anche gli eventi collocabili tra 3.760 ± 70 anni B.P. (4.153-3.807 anni B.P. se si considerano età calibrate) e il II secolo d.C. nel sito 3 (cava di Colle delle Cerese) e tra il XVI sec.a.C. ed il II sec. d.C. nel sito 8 (Strada 38) potrebbero essere riferibili allo stesso evento. Esso potrebbe essere responsabile degli ulteriori crolli in grotta nell'area fucense riferiti da Radmilli (1981) ad un periodo compreso tra 3.800 e 3.100 anni fa.

Il penultimo evento di dislocazione, chiaramente identificabile in tutti i siti analizzati tranne che nel caso del sito 1 (faglie della S.S. Marsicana), è riferibile ad un momento immediatamente più recente di 1.450 ± 100 anni B.P. (^{14}C ; $1.524-1.168$ età ^{14}C cal.; sito 4 in Fig. 1) e sensibilmente più antico di 789 ± 78 anni B.P. (datazione col metodo della termoluminescenza, vedi sito di Casali d'Aschi). Considerando i dati di Michetti *et al.* (1996), il limite cronologico superiore di questo evento è rappresentato dal IX secolo. La dislocazione sarebbe perciò riferibile al periodo alto-medievale (forse l'evento del 484-508 d.C. o quello dell'801 d.C., vedi ad es. Boschi *et al.*, 1995).

L'ultimo evento di dislocazione, chiaramente individuabile in tutti i siti da 2 a 11 e probabilmente, considerando quanto osservato da Galadini *et al.* (1995), anche nel sito 1 (faglie della S.S. Marsicana) è riferibile al 1915.

10. PROBLEMI INTERPRETATIVI: L'EVENTO DI DISLOCAZIONE BASSO-MEDIEVALE

Michetti *et al.* (1996), a seguito dell'analisi delle due trincee scavate in corrispondenza della faglia S. Benedetto dei Marsi-Gioia dei Marsi, interpretano la giacitura di alcune unità sedimentarie come il risultato della deposizione su una scarpata. Secondo gli autori la formazione di questa scarpata sarebbe da riferire o ad un momento di erosione in corrispondenza di un'antica linea di costa del lago o al movimento cosismico della faglia. A causa della mancanza di depositi legati all'evoluzione di una linea di costa, gli autori preferiscono la seconda ipotesi e riferiscono la formazione della scarpata ad un evento basso-medievale (forse il 1349).

Al contrario, nelle trincee e negli scavi analizzati nel presente lavoro non sono state osservate tracce dell'evento basso-medievale eccetto al sito 5. Tuttavia, in questo sito sono presenti chiari indizi di movimenti gravitativi, la cui causa d'innescio non necessariamente è da riferire ad eventi originati nella Piana del Fucino. Inoltre, nel sito 4 (posto sullo stesso segmento di faglia analizzata da Michetti *et al.*, 1996) è stato possibile riferire all'evol-

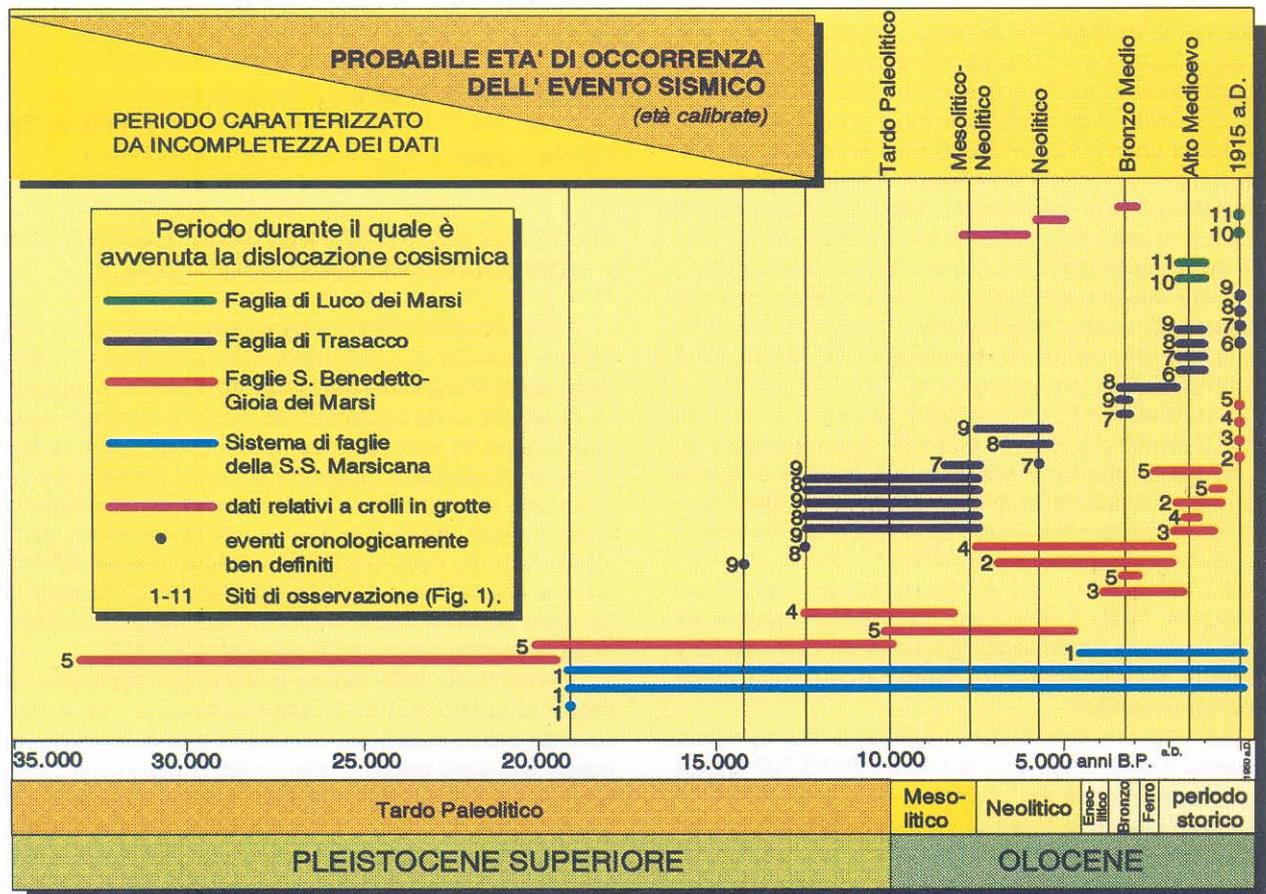
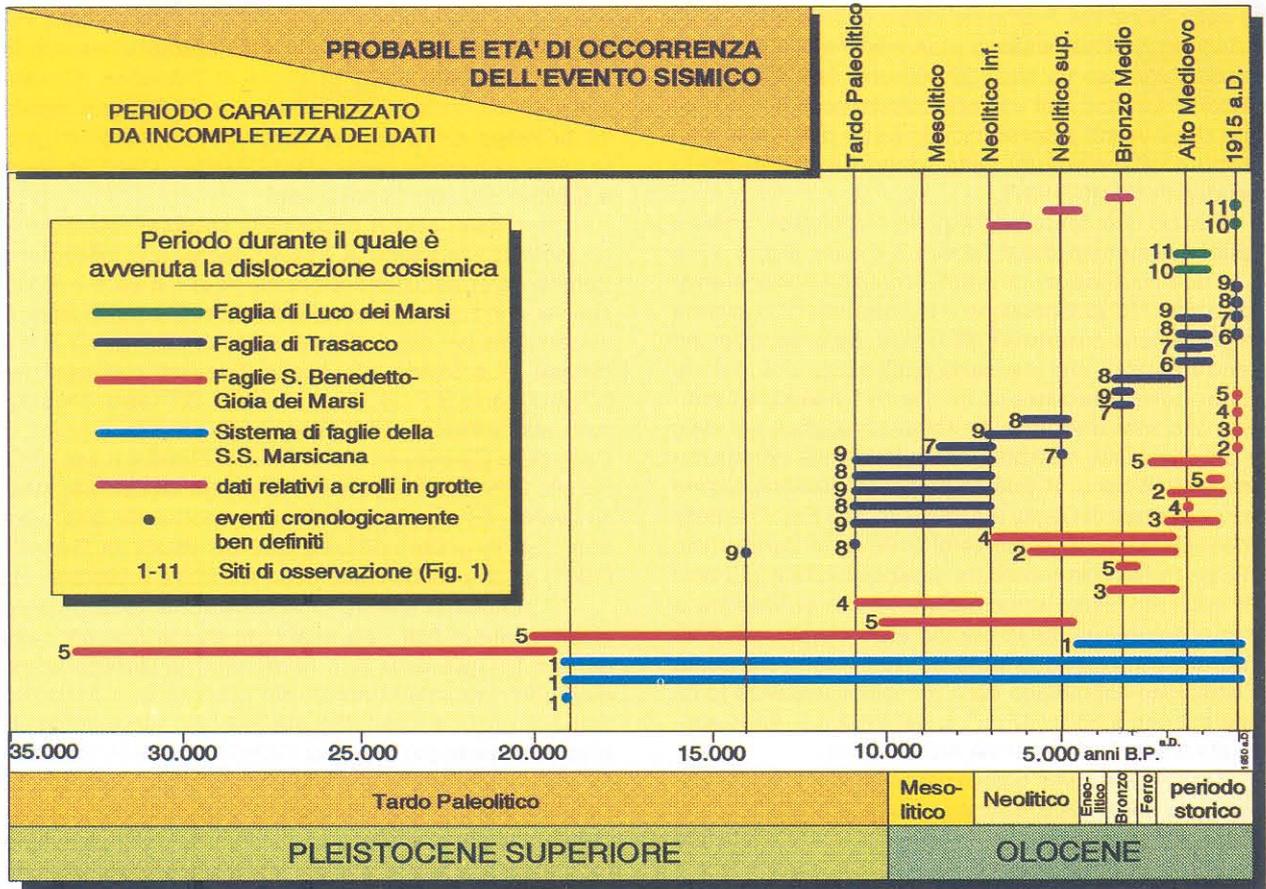


Fig. 27 - Schema rappresentativo delle probabili età di occorrenza degli eventi di dislocazione, considerando datazioni assolute, ottenute col metodo del radiocarbonio, non calibrate. I segmenti orizzontali rappresentano l'intervallo temporale all'interno del quale si è verificato l'evento di dislocazione. I numeri accanto ai segmenti si riferiscono ai siti studiati (Fig. 1).

Occurrence time intervals of the observed coseismic displacement events using uncalibrated ¹⁴C dates. Horizontal segments represent the time interval within which the displacing event took place. Numbers near segments are related to the studied sites (Fig. 1).

luzione della sponda lacustre numerosi episodi erosivi e sedimentari. Di conseguenza sembra preferibile la prima delle ipotesi formulate da Michetti *et al.* (1996) e sembra possibile ipotizzare che un evento basso-medievale non abbia avuto origine né sia stato responsabile di fagliazione di superficie nella Piana del Fucino.

11. INTERVALLI CRONOLOGICI TRA GLI EVENTI

Gli intervalli temporali che intercorrono tra i vari eventi sono riassunti in Tabella 4. Essi sono calcolabili in maniera attendibile, tenendo presente il grado di precisione col quale è possibile fornire le date dei singoli episodi di dislocazione (Tab. 3, Figg. 27 e 28), per i cinque episodi più recenti di dislocazione. La variabilità degli intervalli è compresa tra i 1.100-1.400 anni (tra l'evento del 1915 e quello alto-medievale) e i 1.500-1.700 anni (2.000-2.600 anni se si considerano età ¹⁴C calibrate; tra l'evento della media Età del Bronzo ed il secondo evento neolitico).

Risulta invece impossibile stabilire adeguatamente l'intervallo cronologico tra gli eventi più antichi, a causa della scarsa precisione con cui è nota l'età degli eventi stessi. Si può comunque ricordare che nel periodo compreso tra circa 7.000 anni fa (7.500 anni fa se si considerano età ¹⁴C calibrate) e circa 11.000 anni fa (12.500 se si considerano età ¹⁴C calibrate) sono occorsi tre eventi di dislocazione. In questo caso l'intervallo temporale che separa ognuno dei tre eventi è comunque inferiore a 4.000 anni se si considerano età ¹⁴C non calibrate e inferiore a 5.000 anni se si considerano età ¹⁴C calibrate.

Se invece si considerano i sette eventi consecutivi riportati in Tabella 4, occorsi in un intervallo temporale pari a ca. 11.000 anni (per età ¹⁴C non cal.) e ca. 12.500

Fig. 28 - Schema rappresentativo delle probabili età di occorrenza degli eventi di dislocazione, considerando datazioni assolute ottenute col metodo del radiocarbonio e successiva calibrazione tramite l'utilizzo del programma CALIB 3.0 di Stuiver & Reimer (1993). I segmenti orizzontali rappresentano l'intervallo temporale all'interno del quale si è verificato l'evento di dislocazione. I numeri accanto ai segmenti si riferiscono ai siti studiati (Fig. 1).

Occurrence time intervals of the observed coseismic displacement events using ¹⁴C dates calibrated by means of CALIB 3.0 (Stuiver & Reimer, 1993). Horizontal segments represent the time interval within which the displacement occurred. Numbers near segments are related to the studied sites (Fig. 1).

Tabella 4 - Intervalli temporali tra gli ultimi sette eventi di dislocazione consecutivi, calcolati per età radiocarbonio non calibrate e per età radiocarbonio calibrate.

Time interval between the last seven coseismic events, evaluated on the basis of uncalibrated and calibrated radiocarbon ages.

	Età degli eventi occorsi consecutivamente, considerando età non calibrate* e calibrate**	Intervallo temporale tra gli eventi individuati
1	1915 a.D.	1400
2	508 a.D. (?)	1800 - 2000
3	3.300 - 3.500 B.P.	1.500-1.700* - 2.000-2.600**
4	5.000* - 5.500-5.900** B.P.	2.000* - 1.600-2.000**
5	7.000*-7.700** B.P.	< 4.000*-5.000**
6	7.000-11.000* - 7.700-12.500** B.P.	< 4.000*-5.000**
7	7.000-11.000* - 7.700-12.500** B.P.	

anni (per età ¹⁴C cal.), si ottengono intervalli temporali medi pari a circa 1.800 anni (per età ¹⁴C non cal.) ed a circa 2000-2100 anni (per età ¹⁴C cal.).

Se è possibile considerare consecutivi uno all'altro i sette eventi della Tabella 4, si può essere altrettanto certi della non consecutività degli eventi più antichi, ovvero di quelli individuati a circa 14.000 anni fa (ca. 17.000 anni fa se si considerano età ¹⁴C calibrate), circa 19.000 anni fa e tra 32.500 e circa 20.000 anni fa. In sostanza, per il tardo Pleistocene superiore, l'evoluzione geologica della Piana del Fucino non ha consentito la preservazione delle tracce di tutti gli eventi di dislocazione succedutisi nel tempo⁽¹¹⁾.

In conclusione, i dati attualmente disponibili per le dislocazione oloceniche evidenziano che il tempo di ricorrenza di eventi di fagliazione di superficie nella Piana del Fucino è superiore al migliaio di anni ed inferiore ai 2.600 anni.

12. VELOCITA' DI MOVIMENTO

Considerando le entità dei rigetti in funzione dell'età degli eventi individuati è possibile definire la velocità di movimento verticale minima delle diverse strutture analizzate. In particolare, queste velocità sono pari a:

- 0.4-0.5 mm/a negli ultimi 20.000 anni circa per la faglia della S.S. Marsicana;
- 0.35-0.40 mm/a negli ultimi 10.000 anni circa per la faglia S. Benedetto dei Marsi-Gioia dei Marsi;
- 0.30-0.40 mm/a negli ultimi 7.000 anni circa per la faglia di Trasacco (calcolata per la porzione meridionale della struttura);
- 0.8 mm/a negli ultimi 1.500 anni circa per la faglia

(11) Si veda, a proposito dell'evento riferibile a ca. 14.000 anni fa, la netta superficie di erosione sviluppata al tetto del complesso 1 (assai evidente nel settore sudoccidentale dell'alveo del lago storico), formatasi dopo l'evento in questione, probabilmente responsabile della cancellazione delle tracce di eventi più recenti.

Tabella 3 - Schema riassuntivo dell'età degli eventi di dislocazione osservati e dell'entità dei rigetti misurati. Faglie cui si riferiscono i dati riportati: 1) sistema di faglie della S.S. Marsicana; 2) faglia San Benedetto dei Marsi-Gioia dei Marsi; 3) faglia di Trasacco; 4) faglia di Luco dei Marsi. Per l'ubicazione dei siti si faccia riferimento alla Fig. 1. Per ciò che concerne la simbologia, sono state utilizzate le seguenti notazioni: << = età molto più recente di quella riportata; >> = età molto più antica di quella riportata; ~ = età prossima a quella riportata o rigetto approssimativo; > = l'entità del rigetto riportata è quella minima valutabile; [] = indica il rigetto cumulato al momento a cui viene riferito l'evento (*, sito 1, Fig. 3; **, sito 1, Fig. 4; ***, sito 5, faglia D in Fig. 10); ^ = deforma-

(segue a pag. 61/cont. p. 61) →

Periodo della dislocazione	Periodo della dislocazione con età calibrate	Dislocazione verticale	Faglia	Sito
PALEOLITICO				
~ 32.520±500 - 20.000 B.P.	~ 32.520±500 - 20.000 B.P.	-	2	5
PALEOLITICO SUPERIORE				
~19.100 ± 650 B.P.	~19.100 ± 650 B.P.	[5-7 m]* >250 cm]**	1	1
PALEOLITICO SUPERIORE				
~14.000 B.P.	~16.500-17.500 B.P.	-	3	9
NON DEFINIBILE				
20.000-10.000 B.P.	20.000-10.000 B.P.	> 70 cm	2	5
<<10.000 >> 4.670±430 B.P.	<<10.000 >> 4.670±430 B.P.	[10 m ?]**	2	5
post 19.100 ± 650 B.P.	post 19.100 ± 650 B.P.	[>100 cm]* >220 cm]**	1	1
post 19.100 ± 650 B.P.	post 19.100 ± 650 B.P.	[~70cm]* [200 cm]**	1	1
7.120±120 >> II sec. a.C.	7.929 >> II sec. a.C.	-	2	4
6.170±140 - II sec. d.C.	7.167 - II sec. d.C.	[> 200 cm]	2	2
post 4.500 B.P.	post 4.500 B.P.	40 cm* 50 cm**	1	1
TARDO PALEOLITICO				
10.400±100 >> 7.120±120 B.P.	12.181 >> 7.526 B.P.	[>250 cm]	2	4
~10.790±110 B.P.	~12.679 - 12.003 B.P.	[180 cm]^	3	8
10.790±110-7.120±120 B.P.	12.679 - 7.526 B.P.	[~100 cm]	3	9
MESOLITICO				
10.790±110 - 7.120±120 B.P.	12.679 - 7.526 B.P.	[130 cm]^	3	8
10.790±110 - 7.120±120 B.P.	12.679 - 7.526 B.P.	-	3	9
NEOLITICO INFERIORE				
ante 6.170±140 B.P.	ante 7.167 - 6.495 B.P.	[> 380 cm]	2	2
<<10.790±110 - 7.120±120 B.P.	<<12.679 - 7.526 B.P.	[> 300 cm]	3	7
10.790±110 - 7.120±120 B.P.	12.679 - 7.526 B.P.	-	3	8
10.790±110 - 7.120±120 B.P.	12.679 - 7.526 B.P.	-	3	9
NEOLITICO SUPERIORE				
~5.060±90 B.P.	~5.894 - 5.568 B.P.	[> 200 cm]	3	7
<<7.120±120 - 5.000 B.P.	<<7.929 - ~5.500 B.P.	[90 cm]^	3	8
7.120±120 B.P. - 5000 B.P.	7.929 - ~5.500 B.P.	-	3	9
MEDIA ETÀ DEL BRONZO				
~2.783±213 /3.300-3.700 B.P.	~2.783±213 /3.300-3.700 B.P.	150 cm [8 m]**	2	5
3.760±70 B.P. - II cent d.C.	4.153 B.P. - II cent d.C.	[> 200 cm]	2	3
~XV-XVI sec. a.C.	~XV-XVI sec. a.C.	[> 150 cm]	3	7
XVI sec. a.C. - II sec. d.C.	XVI sec. a.C. - II sec. d.C.	-	3	8
~XV-XVI sec. a.C.	~XV-XVI sec. a.C.	-	3	9
ALTO MEDIEVALE				
2.783±213 - XIII sec. d.C.	2.783±213 - XIII sec. d.C.	20 cm; 6 m [6.5 m]**	2	5
~1.450±100 B.P.	~1.524 - 1.168 B.P.	-	2	4
II-XV sec. d.C.	II-XV sec. d.C.	>30 cm	2	2
II-XV sec. d.C.	II-XV sec. d.C.	[>120]	2	3
tardo romano-alto medievale	tardo romano-alto medievale	> 25 cm	3	7
tardo romano-alto medievale	tardo romano-alto medievale	> 30 cm	3	6
tardo romano-alto medievale	tardo romano-alto medievale	[>70 cm]^	3	8
tardo romano-alto medievale	tardo romano-alto medievale	~20 cm	3	9
tardo romano-alto medievale	tardo romano-alto medievale	[> 120 cm]	4	11
BASSO MEDIEVALE				
basso medioevo (XIII-XIV sec.)	basso medioevo (XIII-XIV sec.)	20 cm [50 cm]	2	5
1915				
1915	1915	30 cm	2	5
1915	1915	~60	2	4
1915	1915	> 60 cm	2	2
1915	1915	> 30 cm	2	3
1915	1915	> 40 cm	3	7
1915	1915	~70 cm	3	6
1915	1915	>40 cm^	3	8
1915	1915	~15 cm	3	9
1915	1915	> 15 cm	4	11
1915	1915	~10 cm	4	10

(cont da p. 60/cont. from p. 60) zione complessiva (somma della componenti fragile e continua della deformazione).

Ages and vertical offsets of the coseismic displacements. Numbers in the penultimate column are related to the studied faults: 1) Marsicana Hwy fault system; 2) San Benedetto dei Marsi-Gioia dei Marsi fault; 3) Trasacco fault; 4) Luco dei Marsi fault. Numbers in the last column are related to the studied sites (Fig. 1). "<<" = age much younger than that reported; ">>" = age much older than that reported; "~" = age close to that reported; ">" = minimum evaluable offset; "[]" = cumulative offset at the moment of the displacement (, site 1, Fig. 3; ** site 1, Fig. 4; ***, site 5, fault D in Fig. 10); "A" = total fragile plus continuous deformation.*

di Luco dei Marsi.

Dato il minore dettaglio con cui è stata analizzata la faglia di Luco dei Marsi, quest'ultimo dato sulla velocità di movimento verticale minima è meno attendibile degli altri proposti.

Nella Figura 29 sono riportati quattro diagrammi, relativi ai siti 1, 2, 7 e 8, in ognuno dei quali è evidenziata l'entità della dislocazione reale o minima, riferita all'intervallo temporale all'interno del quale può essere collocata l'età dei sedimenti su cui essa è stata misurata. La pendenza delle rette tracciate sui vari diagrammi costituisce un'indicazione approssimativa della velocità di movimento delle varie strutture in corrispondenza dei siti analizzati. Per i siti 1 e 7 (rispettivamente faglie della S.S. Marsicana e faglia di Trasacco) si ottiene una velocità di movimento pari a 0.36 mm/a; per il sito 2 (faglia San Benedetto dei Marsi-Gioia dei Marsi) la velocità di movimento è pari a 0.39 mm/a. Invece, per il sito 8 (faglia di Trasacco) la velocità di movimento è pari a 0.15 mm/a, decisamente inferiore ai valori di cui sopra. Questo dato riflette la diminuzione dell'entità della dislocazione, lungo la faglia di Trasacco, da Sud verso Nord. La stessa faglia, poco a N del sito 9, non ha più evidenza superficiale.

In generale, quindi, le tre faglie per le quali sono disponibili un maggior numero di dati (S.S. Marsicana, S. Benedetto dei Marsi-Gioia dei Marsi, Trasacco) sono

caratterizzate, nei settori con entità della dislocazione maggiori, da velocità di movimento simili, dell'ordine dei 0.4 mm/a.

13. CONCLUSIONI

I risultati riportati nel presente studio sono stati ottenuti tramite analisi paleosismologiche condotte in undici differenti siti (con otto trincee realizzate *ad hoc*) e con l'ausilio di oltre 300 sondaggi manuali. Importanti osservazioni sono state inoltre effettuate all'interno della lunga trincea scavata dalla SNAM nella porzione settentrionale del bacino e dell'altrettanto lunga trincea scavata nella porzione sudoccidentale per la posa in opera di un acquedotto. Ulteriori indicazioni sono state tratte dall'analisi delle pareti dei canali collettori e presso recenti scavi realizzati al piede del versante sudorientale della conca.

Una metodologia di analisi paleosismologica di tipo areale, estesa quindi a tutti i settori di deformazione cosismica ipotizzati su basi prevalentemente geologico-geomorfologiche, unita all'analisi neotettonica di cui in Galadini & Messina (1994) ha consentito di individuare le strutture principali tramite le quali si esplica l'attività tettonica cosismica. Queste sono rappresentate da faglie o sistemi di faglie ad orientazione NW-SE (S. Benedetto

Tabella 5 - Sintesi degli eventi di dislocazione individuati nel presente lavoro, confrontati con i dati precedentemente disponibili. Nell'elenco dei dati della prima colonna, l'apice tra parentesi identifica la struttura Avezzano-Celano (vedi per l'ubicazione Galadini & Messina, 1994). Nell'elenco dei dati della terza colonna, per l'evento del XIII-XIV secolo d.C. (posto in corsivo e con il punto interrogativo) si deve tenere conto di quanto riportato nel paragrafo dedicato ai problemi interpretativi. Nella stessa colonna il singolo asterisco si riferisce a datazioni radiocarbonio non calibrate; il doppio asterisco si riferisce a datazioni radiocarbonio calibrate.

Results obtained in the present work compared to previously published data. The symbol "A" in Giraudi's paper indicates data concerning the Avezzano-Celano fault. The 13th-14th century A.D. event, reported within the data related to the present work, has only been recognized at site 5 (Fig. 1). It has been considered as a possible gravitational response to an earthquake which occurred outside of the Fucino Plain. Single and double asterisks refer to uncalibrated and calibrated ages, respectively.

Giraudi, 1988		Michetti et al., 1996		Questo lavoro	
Periodo della dislocazione	Struttura	Periodo della dislocazione	Struttura	Periodo della dislocazione	Struttura
1		1915 a.D.	2	1915 a.D.	2, 3, 4, 1?
2	443-801-1349 a.D. ?	IX-XIV sec d.C. (1349 a.D. ?)	2	XIII-XIV sec. d.C. ?	2
3	3.500-3.000 B.P.	VI-IX sec d.C. (801 a.D. ?)	2	VI-IX sec. d.C. (508 a.D. ?)	2, 3, 4
4	5.500-5.000 B.P.			3.300 - 3.500 B.P.	2, 3
5				5.000* - 5.500-5.900** B.P.	3, 1?, 2?
6				7.000* - 7.700** B.P.	3, 1?, 2?
7				7.000-11.000* - 7.700-12.500** B.P.	3
8				7.000-11.000* - 7.700-12.500** B.P.	2, 3
9	20.000-13.000 B.P.			14.000* - 17.000** B.P.	3, 1?, 2?
10				ca 19.000* B.P.	1
				32.520±500* - 20.000 B.P.	2

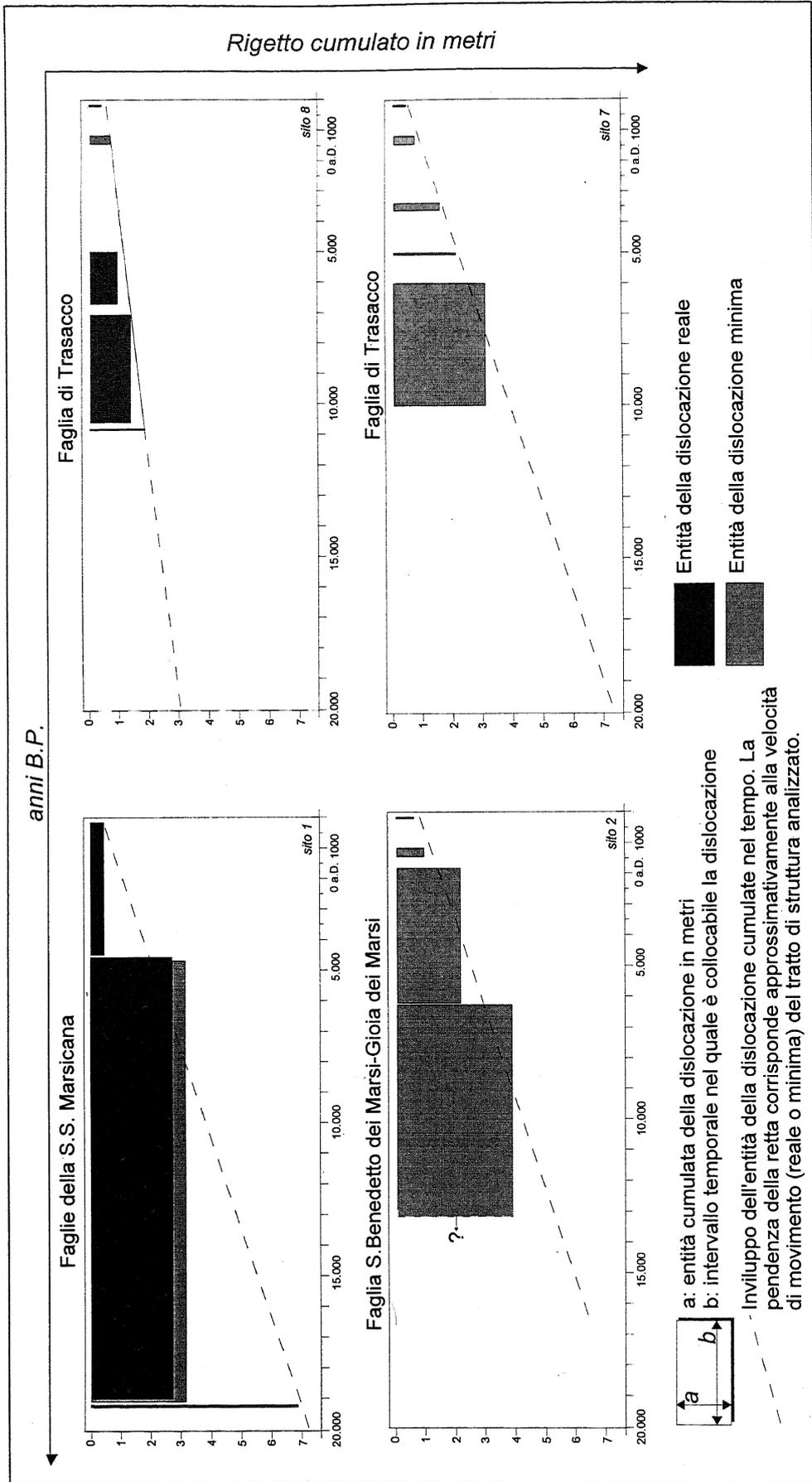


Fig. 29 - Valutazione approssimativa della velocità di movimento calcolata per il sistema di faglie della S.S. Marsicana (sito 1), per la faglia S. Benedetto dei Marsi-Gioia dei Marsi (sito 2) e per la faglia di Trasacco (siti 7 e 8). E' possibile notare la diminuzione della velocità di movimento della faglia di Trasacco dal sito 7 al sito 8 (da Sud verso Nord).
 Evaluation of the slip-rate for the Marsicana Hwy fault system (site 1 in Fig. 1), the S. Benedetto-Gioia dei Marsi fault (site 2) and the Trasacco fault (sites 7 and 8). Note the decrease in the slip-rate along the Trasacco fault from south (site 7) to north (site 8).

dei Marsi-Gioia dei Marsi, Trasacco, Luco dei Marsi e S.S. Marsicana a NW di Pescina). Il volume di crosta mobilitato tra le faglie corrisponde in superficie alla porzione più depressa della conca, quest'ultima individuabile in un'area rettangolare di circa 15 km in senso NE-SW e 20 km in senso NW-SE (comprendendo il settore a SE di Ortucchio, esteso a valle della faglia Gioia dei Marsi-S. Benedetto dei Marsi).

Dettagliate correlazioni stratigrafiche, sostanziate da numerose datazioni con i metodi del radiocarbonio e della termoluminescenza (Tab. 1) nonché da datazioni archeologiche sui manufatti rinvenuti, hanno permesso di fornire un inquadramento cronologico dell'età di ogni movimento responsabile delle deformazioni indotte in superficie. Nell'intervallo cronologico compreso tra 32.000 anni fa ed oggi, gli eventi che è stato possibile individuare sono almeno undici; di questi, otto sono avvenuti nel corso dell'Olocene, ovvero negli ultimi 11.000-12.000 anni. Per quest'ultimo intervallo, tenuto conto dell'interpretazione data per l'evento di dislocazione basso medievale nel sito 5 (Casali d'Aschi), i tempi di ritorno medi sono dell'ordine dei 1.800 o dei 2.000-2.100 anni (rispettivamente per età ^{14}C non cal. e per età ^{14}C cal.). Se si considerano invece i tempi di ritorno reali, calcolati in base ai dati disponibili sulla cronologia degli eventi individuati, questi variano tra i 1.100-1.400 anni (tra l'evento del 1915 e quello alto-medievale) e i 1.500-1.700 anni (o i 2.000-2.600 anni per età calibrate; tra l'evento della Media Età del Bronzo ed il secondo evento neolitico).

La velocità di movimento verticale minima, calcolata sulla base dei rigetti osservati sul piano di faglia, è, per le strutture per le quali più dati sono disponibili (S.S. Marsicana; San Benedetto dei Marsi-Gioia dei Marsi; Trasacco), dell'ordine dei 0.4 mm/a.

L'individuazione, sulle diverse strutture studiate, degli effetti di almeno nove eventi sismici precedentemente sconosciuti (a parte quello alto-medievale di Brunamonte *et al.*, 1991 e quelli desumibili dagli "indizi di paleosismicità" di Giraudi, 1988; vedi Tab. 5) probabilmente simili a quello occorso nel 1915, la valutazione del loro tempo di ricorrenza e la definizione in superficie dell'area sulla quale si manifestano gli effetti della struttura sismogenetica fucense costituiscono il principale elemento di novità nella definizione delle caratteristiche sismogenetiche dell'area.

BIBLIOGRAFIA

- Agostini S. & Rossi M.A., 1989 - *Insedimento e necropoli dell'età del Bronzo di Celano. Gli elementi geoarcheologici*. Congresso su "Il Fucino e le aree limitrofe nell'antichità", Avezzano (Italy), nov. 10-11, 1989, Proc., 154-155.
- Agostini S., d'Ercole V., Pellegrini W., Rossi M.A. & Staffa A.R., 1992 - *L'archeologia nel Museo delle Genti d'Abruzzo*. Soprintendenza Archeologica dell'Abruzzo, Chieti, 66 pp.
- Alfani G., 1915 - *Appunti di viaggio del Padre G. Alfani sui luoghi maggiormente danneggiati dal terremoto del 13 gennaio 1915*. Archivio dell'Osservatorio Ximeniano, Ms., 14 pp.
- Baratta M., 1901 - *I terremoti d'Italia*. Torino, 1901 (rist. Forni ed., Bologna, 1979).
- Baratta M., 1915 - *Difendiamoci dai terremoti*. Nuova Antologia, anno 50°, fasc. 1039, 142-150.
- Biasini A., 1966 - *Elementi morfotettonici, tratti da un rilievo fotogeologico, al margine dell'altipiano di Ovindoli (Abruzzo)*. Geol. Rom., 5, 303-312.
- Boschi E., Ferrari G., Gasperini P., Guidoboni E., Smriglio G. & Valensise G., 1995 - *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980*. Istituto Naz. di Geofisica, SGA-Storia Geofisica Ambiente, Bologna.
- Branca M.E., Calderoni G. & Petrone V., 1989 - *Geochemical and palaeoenvironmental significance of dating reversal in radiocarbon chronostratigraphy of lacustrine sediments: a case study from Castiglione valley (Latium, Italy)*. Abs., 28th Int. Geol. Congr., July 9-19 1989, Washington D.C. (U.S.A.), 3, 461.
- Brisse A. & De Rotrou L., 1883 - *Prosciugamento del Lago Fucino fatto eseguire da sua eccellenza il Principe Alessandro Torlonia. Descrizione storica e tecnica*. Ristampa a cura di S. D'Amato e U.M. Palanza, Avezzano, 1983 e 1985, 2 vols., 322 e 335 pp.
- Brunamonte F., Michetti A.M., Serva L. & Vittori E., 1991 - *Evidenze paleosismologiche nell'Appennino Centrale ed implicazioni neotettoniche*. Studi Geol. Camerti, vol. spec. CROP 11, 265-270.
- Cinti F.R., Pantosti D., D'Addezio G. & De Martini P.M., 1992 - *Paleosismicità della faglia Ovindoli-Pezza (Abruzzo)*. 11° Conv. Gruppo Naz. di Geofisica Terra Solida, Roma, 9-11 dicembre 1992, Atti, 273-285.
- D'Addezio G., Pantosti D. & Valensise G., 1991 - *Paleoearthquakes along the Irpinia fault at Pantano di San Gregorio Magno (southern Italy)*. Il Quaternario, 4(1a), 121-136.
- D'Amato S., 1980 - *Il primo prosciugamento del Fucino*. Centro Studi Marsicani, Avezzano.
- Frezzotti M. & Giraudi C., 1986 - *Utilizzazione di immagini LANDSAT TM nello studio geologico di aree di pianura: l'esempio della Piana del Fucino*. Mem. Soc. Geol. It., 35, 881-886.
- Galadini F. & Messina P., 1994 - *Plio-Quaternary tectonics of the Fucino basin and surrounding areas (central Italy)*. Giorn. di Geol., 56(2), 73-99.
- Galadini F., Galli P., Giraudi C. & Molin D., 1995 - *Il terremoto del 1915 e la sismicità della Piana del Fucino (Italia centrale)*. Boll. Soc. Geol. It., 114(3), 635-663.
- Giraudi C., 1986 - *Faglie ad attività olocenica nella Piana del Fucino (Abruzzo)*. Mem. Soc. Geol. It., 35, 875-880.
- Giraudi C., 1988 - *Evoluzione geologica della Piana del Fucino (Abruzzo) negli ultimi 30.000 anni*. Il Quaternario, 1(2), 131-159.
- Giraudi C., 1989a - *Datazione di indizi di paleosismicità con metodi geologici nel Massiccio del Gran Sasso*. In: E. Guidoboni (a cura di), "I terremoti prima del Mille in Italia e nell'area mediterranea". Istituto Naz. di Geofisica, Bologna, 43-52.
- Giraudi C., 1989b - *Datazione di un evento sismico preistorico con metodi geologici e radiometrici: piani di*

- Aremogna e delle Cinque Miglia*. In: E. Guidoboni (a cura di), "I terremoti prima del Mille in Italia e nell'area mediterranea". Istituto Naz. di Geofisica, Bologna, 53-64.
- Giraudi C., 1989c - *Datazione con metodi geologici delle scarpate di faglia post-glaciali di Ovindoli-Piano di Pezza (Abruzzo-Italia centrale): implicazioni*. Mem. Soc. Geol. It., **42**, 29-39.
- Giraudi C., 1990 - *Le variazioni di livello del lago del Fucino (Abruzzo) nel periodo 1783-1862: implicazioni climatiche*. Il Quaternario, **3**(2), 167-174.
- Giraudi C., 1995a - *Considerations on the significance of some post-glacial fault scarps in the Abruzzo Apennines (central Italy)*. Quat. Int., **25**, 33-45.
- Giraudi C., 1995b - *I detriti di versante ai margini della Piana del Fucino (Italia Centrale): significato paleoclimatico ed impatto antropico*. Il Quaternario - It. J. Quat. Sci., **8**(1), 203-210.
- Giraudi C., 1997 - *Evoluzione geologica tardo pleistocenica ed olocenica della Piana del Fucino e dei versanti adiacenti: analisi di nuovi dati stratigrafici e radiometrici e ricostruzione delle variazioni ambientali*. In: S. Castenetto & F. Galadini (a cura di): "Il terremoto del 13 gennaio 1915". Serv. Sismico Naz. e C.N.R.-C.S. Geologia Tecnica (in stampa).
- Giraudi C. & Frezzotti M., 1995 - *Paleoseismicity in the Gran Sasso massif (Abruzzo, central Italy)*. Quat. Int., **25**, 81-93.
- Giraudi C. & Frezzotti M., 1997 - *Segnalazione di stalattiti fratturate nella grotta-riparo Continenza di Trassacco: nuovi indizi di paleosismicità*. In S. Castenetto & F. Galadini (a cura di): "Il terremoto del 13 gennaio 1915". Serv. Sismico Naz. e C.N.R.-C.S. Geologia Tecnica (in stampa).
- Kieffer G., 1979 - *L'activité de l'Etna pendant les derniers 20.000 ans*. C.R. Acad. Sc. Paris., **288**, D, 1023-1026.
- Mercalli G., 1883 - *Vulcani e fenomeni vulcanici*. Milano, 1883.
- Michetti A.M., Brunamonte F., Serva L. & Vittori E., 1996 - *Trench investigations of the 1915 fucino earthquake fault scarps (Abruzzo, Central Italy): geological evidence of large historical events*. J. Geoph. Res., **101**(B3), 5921-5936.
- Narcisi B., 1993 - *Segnalazione di un livello piroclastico di provenienza etnea nell'area del Fucino (Italia centrale)*. Il Quaternario, **6**(1), 87-92.
- Oddone E., 1915 - *Gli elementi fisici del grande terremoto marsicano-fucinese del 13 gennaio 1915*. Boll. Soc. Sismol. It., **19**, 71-216.
- Omori F., 1909 - *Preliminary report on the Messina-Reggio Earthquake of Dec.28, 1908*. Bull. Imperial Earthquake Invest. Committee, **3**(2), 37-46.
- Pessina A., 1989 - *Nuovi dati sull'insediamento neolitico di Paterno*. In: Archeoclub d'Italia, Sezione della Marsica - "Il Fucino e le aree limitrofe nell'antichità", Avezzano, 122-133.
- Radmilli A.M., 1981 - *Storia dell'Abruzzo dalle origini all'Età del Bronzo*. Ed. Giardini, Pisa, 451 pp.
- Serva L., Blumetti A.M. & Michetti A.M., 1986 - *Gli effetti sul terreno del terremoto del Fucino (13 Gennaio 1915); tentativo di interpretazione della evoluzione tettonica recente di alcune strutture*. Mem. Soc. Geol. It., **35**, 893-907.
- Stuiver M. & Reimer P.J., 1993 - *Extended ¹⁴C data base and revised CALIB 3.0 ¹⁴C calibration program*. Radiocarbon, **35**(1), 215-230.
- Zimmermann D.W., 1971 - *TL dating using fine grains from pottery*. Archaeometry, **13**, 29-59.

Ms. ricevuto: 28 ott. 1996
 Inviato all'A. per la revisione: 20 nov. 1996
 Testo definitivo ricevuto: 15 dic. 1996

Ms received: Oct. 28, 1996
 Sent to the A. for a revision: Nov. 20, 1996
 Final text received: Dec. 15, 1996