

**STRUTTURE DA LIQUEFAZIONE INTERPRETABILI COME SISMITI  
IN SEDIMENTI LITORALI STORICI DELLA PIANA DEL SELE (CAMPANIA)(\*\*\*\*)**

INDICE

RIASSUNTO	pag. 387
ABSTRACT	” 387
INTRODUZIONE	” 387
QUADRO GEOLOGICO E STRATIGRAFICO LOCALE	” 389
DESCRIZIONE DELLE STRUTTURE DA LIQUEFAZIONE	” 390
DISCUSSIONE	” 391
BIBLIOGRAFIA	” 395

RIASSUNTO

Alcune cave di sabbia situate a poche centinaia di metri dal mare sul più esterno sistema di cordoni costieri della Piana del Sele (località Spineta, Comune di Battipaglia) hanno rivelato la presenza di strutture da liquefazione in depositi eolici e di spiaggia.

Le strutture, interessanti solo gli intervalli stratigrafici caratterizzati da variazioni verticali di tessitura e/o composizione, hanno dimensioni variabili da pochi centimetri ad alcuni decimetri e sono del tipo: laminazioni convolute, pieghe inclinate e coricate, dicchi di sabbia, strutture da iniezione e da carico, strutture a fiamma e pseudonoduli.

I più recenti depositi della successione interessata da liquefazione sono rappresentati da depositi limo-sabbiosi di ambiente intra e retrodunare. Questo complesso di sedimenti che verso mare poggia sui depositi sabbioso-ghiaiosi di una spiaggia di presumibile età romana (a tetto di quest'ultimo si conserva, localmente, un livello piroclastico riferibile all'eruzione del Vesuvio del 79 d.C.) seppellisce, verso l'interno, resti di muratura da inquadrare tra la metà dell'ottocento e gli anni trenta.

Un'analisi dei possibili meccanismi genetici, unitamente alla osservazione di vulcanelli di sabbia prodotti in un sito vicino (Torre Picentina) a seguito del sisma irpino del 1980 (DA ROIR *et alii*, 1981), porta a considerare lo scuotimento sismico come la causa più verosimile per i fenomeni rilevati nelle cave in località Spineta.

L'interesse di questo sito risiede nella possibilità offerta per la prima volta in Italia di osservare in dettaglio strutture da liquefazione in sezioni verticali e, data la ricchezza dei dati archeologici ed i caratteri stratigrafici particolarmente favorevoli, di indagare tramite tali strutture sulla storia paleosismica di un'area.

ABSTRACT

A set of sand borrow-pits excavated in the Sele Plain southeast of Battipaglia between 200 and 300 meters from the present shoreline (Spineta site), allowed the description of liquefaction features in beach and dune deposits.

The disturbed layer, about 200 cm thick, is truncated by a 50 cm plough zone. Liquefaction features are evident only in those stratigraphical intervals characterized by variable composition and/or texture.

The observed deformation structures include inclined to recumbent folds, sand dikes, injection and flame structures, load casts and pseudonodules. Their dimensions range between a few centimetres and several tens of centimetres.

A careful evaluation of all possible causes for liquefaction at this site allows to rule out most of them, leaving seismicity as the most plausible one. The possibility for liquefaction in this sector of the plain related to low macroseismic intensities (VI-VII M.C.S.) is confirmed by the occurrence of sand boils during the Irpinia earthquake of 1980 in a nearby site (Torre Picentina, situated 9 km north to the Spineta Site). There is no witness account for liquefaction at the Spineta site during the same event.

The most recent deposits of the disturbed succession can be referred to an interdune environment. These deposits, which partly rest on sandy and gravelly beach deposits preserving locally on their top a pyroclastic level attributable to the Vesuvian eruption of 79 A. D., near the inner rim of the dune complex bury rests of walling whose age permits to place the seismic event within the last 150 years. So far, it was not possible to define the number of events or obtain absolute dates.

It is stressed that the relevance of this site, provided the seismic origin of the observed structures as correct, resides in the first opportunity in Italy to describe in detail recent liquefaction features in cross-section. Moreover, it proves the liquefaction potential of these terrains for relatively low seismic intensities. This is a first step towards the use of such structures to contribute to a seismic hazard assessment.

PAROLE CHIAVE: Liquefazione, Paleosismicità, Piana costiera, Periodo storico, Italia meridionale.

KEY WORDS: Liquefaction, Paleoseismicity, Coastal plain, Historical period, South Italy.

INTRODUZIONE

Lo studio delle strutture indotte nei sedimenti da fenomeni di liquefazione cosismica costituisce in Italia un campo di ricerca potenzialmente molto fertile (MICHETTI, 1994). La vasta documentazione storica a nostra disposizione (BERARDI *et alii*, 1988; 1991) consente infatti di determinare un gran numero di siti di riferimento nei quali è possibile 1) studiare gli effetti di liquefazioni associate ad eventi sismici storicamente noti, 2) riconoscere eventi probabilmente simili a

(\*)Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Napoli.

(\*\*)C.N.R. - Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremonti c/o Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, Roma.

(\*\*\*)ANPA - Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, Roma.

(\*\*\*\*)Lavoro eseguito con il contributo dei fondi di ricerca M.U.R.S.T. (40%) "Genesi ed evoluzione geomorfologica delle Piane dell'Italia peninsulare ed insulare" (Resp. Naz. Prof. P.R. FEDERIGI; Resp. U.O. Prof. L. BRANCACCIO) e C.N.R. 95.00352.CT05 (Titolare Prof. A. CINQUE).

quelli noti ed avvenuti nello stesso sito in epoche precedenti, 3) calibrare la metodologia al fine di identificare evidenze paleosismiche anche in aree prive di attività sismica storicamente documentata. Tale studio è particolarmente utile e promettente nell'ambito delle pianure costiere della Penisola caratterizzate dalla presenza di depositi suscettibili di liquefazione e straordinariamente ricche di siti archeologici in grado di facilitare l'inquadramento cronologico degli eventi (GALLI & FERRELI, 1995).

Si ricorda che per liquefazione si intende la temporanea riduzione a zero della resistenza al taglio (fluidificazione) di sedimenti granulari (per lo più sabbiosilimosi) sciolti e saturi (FACCIOLI, 1975; SEED, 1970), indotta da un anomalo innalzamento delle pressioni neutre. Tale fenomeno si osserva comunemente in depositi granulari alluvionali e marini molto recenti non diagenizzati, posti a basse profondità dal piano campagna, in falda, presenti all'interno di depressioni vallive, di conche intermontane e in aree costiere. Essendo

frequente in occasione di eventi sismici (AMICK *et alii*, 1990; AUDEMARD & DE SANTIS, 1991; BOSI *et alii*, 1973; CAVALLIN *et alii*, 1977; DA ROIT *et alii*, 1981; SEILACHER, 1969; SIRO, 1977), è considerato un indicatore geologico di paleosismicità (sismite, *sensu* RICCI LUCCHI, 1995; SAUCIER, 1991; SEILACHER, 1969; SIMS, 1975; THORSON *et alii*, 1986; VITTORI *et alii*, 1991). Esistono però altre cause genetiche in grado di determinare tale fenomeno (LOWE, 1975; RICCI LUCCHI, 1995), per cui sono indispensabili un grande dettaglio nella fase descrittiva ed una certa cautela in fase interpretativa.

L'apertura di una serie di piccole cave di sabbia sul più esterno sistema di cordoni costieri della Piana del Sele (Fig. 1), edificatosi nel corso degli ultimi 2500 anni (BRANCACCIO *et alii*, 1988), ha consentito di osservare delle strutture deformative con caratteristiche tipiche dei fenomeni di liquefazione. In questa nota forniamo una prima descrizione di tali strutture, discutendone i possibili meccanismi genetici e le loro eventuali implicazioni in rapporto alla sismicità.

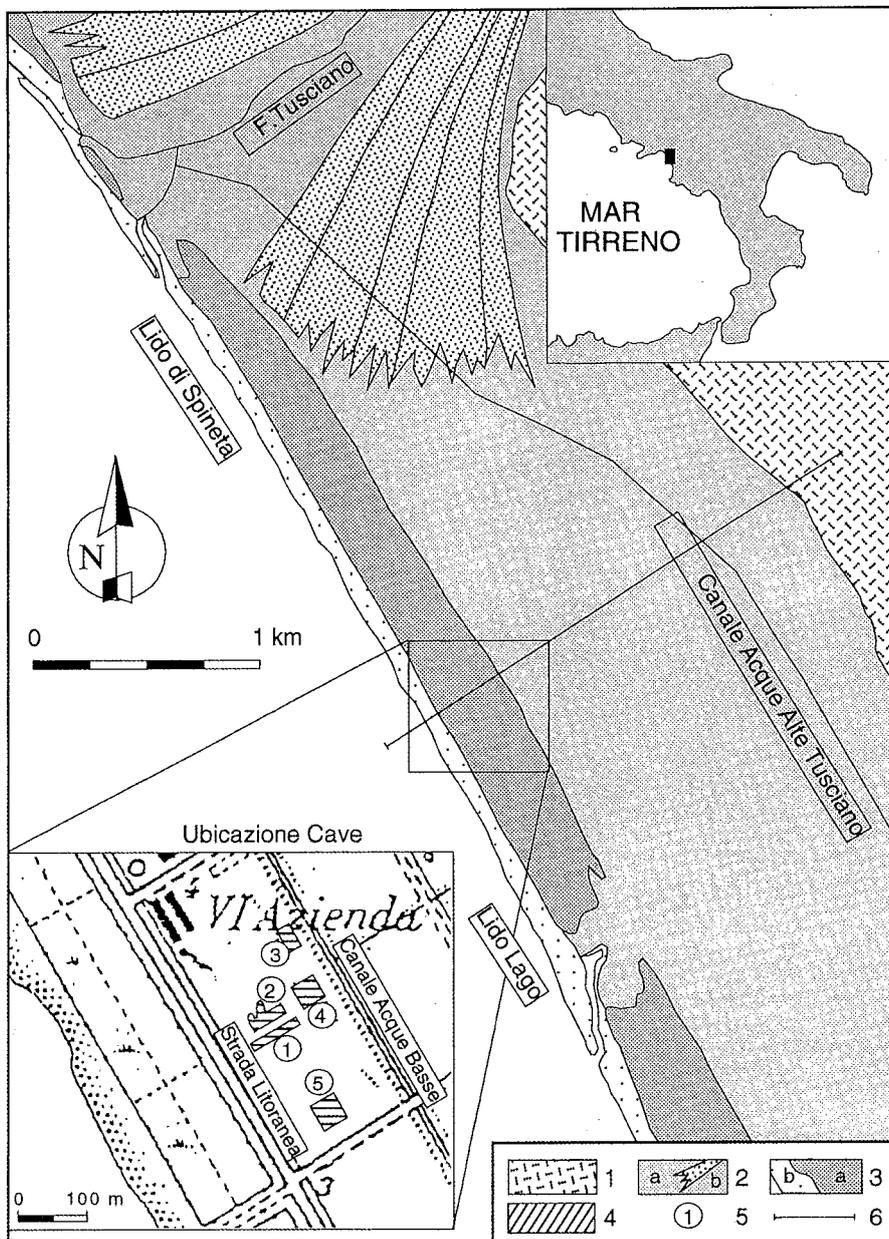


Fig. 1 - Ubicazione dell'area e delle cave esaminate.

1) sabbie e calcareniti tirreniane; 2) depositi in facies fluvio-palustre e lagunare (a) e di conoide (b) olocenici; 3) sabbie litorali oloceniche (a) e di spiaggia attuale (b); 4) ubicazione delle cave investigate; 5) riferimento numerico delle cave; 6) traccia della sezione geologica riportata in figura 2.

## QUADRO GEOLOGICO E STRATIGRAFICO LOCALE

Le cave in questione sono ubicate in località Spineta (Comune di Battipaglia) ad una distanza compresa tra 250 e 350 metri dalla costa (Fig. 1). Nella zona la superficie topografica si trova a circa 3,8 m s.l.m., mentre la falda è posta a circa 2,8 m dal piano campagna (profondità di scavo raggiunta localmente all'interno delle cave), ovvero a circa 1 metro sopra il livello del mare. Il corso d'acqua più prossimo è il Fiume Tusciano la cui foce è situata ca. 3 km a nord dell'area in esame. Il sito di Spineta ricade nella fascia di dune costiere rimasta attiva fino a circa la fine degli anni '30, quando l'area venne bonificata (BRANCACCIO *et alii*, 1988). Nel corso di questa bonifica, la porzione esterna di questo sistema di dune venne stabilizzata con l'impianto di una pineta, mentre quella interna venne spiata per avviarsi pratiche agricole. La piana palustre posta alle spalle di questo sistema di dune si trova a quote di poco variabili intorno a 1.5 m s.l.m., e si spinge verso mare sino a poche decine di metri dalla più interna delle cave esaminate.

La successione stratigrafica esposta nelle pareti di cava, procedendo dal basso verso l'alto, risulta composta dalle seguenti unità (Fig. 2):

a) Sabbie medie e fini di spiaggia laminate con variabile contenuto di granuli monomineralici (femici) di origine vulcanica; sono presenti nuclei e livelli maggiormente cementati.

b) Sabbie di spiaggia da fini a grossolane con livelli di ghiaietto e contenenti sparse valve di lamelli-branchi (*genus Tellina, Cardium, Cerastoderma*) con strati inclinati di 5-10° verso la linea di costa attuale.

c) Livello piroclastico spesso ca. 30 cm (Cava 1 e 2, Fig. 1). Risulta costituito da un livelletto superiore scuro ricco in femici, un livello intermedio (spesso ca. 15 cm) di pomice gradate e debolmente saldate di colore grigio-chiaro con qualche femico, ed un livello inferiore di pomice biancastre (diametro massimo intorno al mm) caratterizzato da una gradazione inversa. Tale livello piroclastico, in base alle sue caratteristiche, è da attribuire verosimilmente all'eruzione del Somma-Vesuvio del 79 d. C. (L. MELLUSO, com. pers.).

d) Sabbie medie e fini di spiaggia caratterizzate da rari livelli a ciottoli e fossili marini (*genus Tellina, Cardium, Cerastoderma*).

e) Alternanze stratoidi e lentiformi di sabbie medie e fini spesso caratterizzate da una stratificazione incrociata-concava con associate laminazioni centimetriche, e ricche di gasteropodi polmonati, sabbie fini a variabile matrice limosa e limi sabbiosi con debole

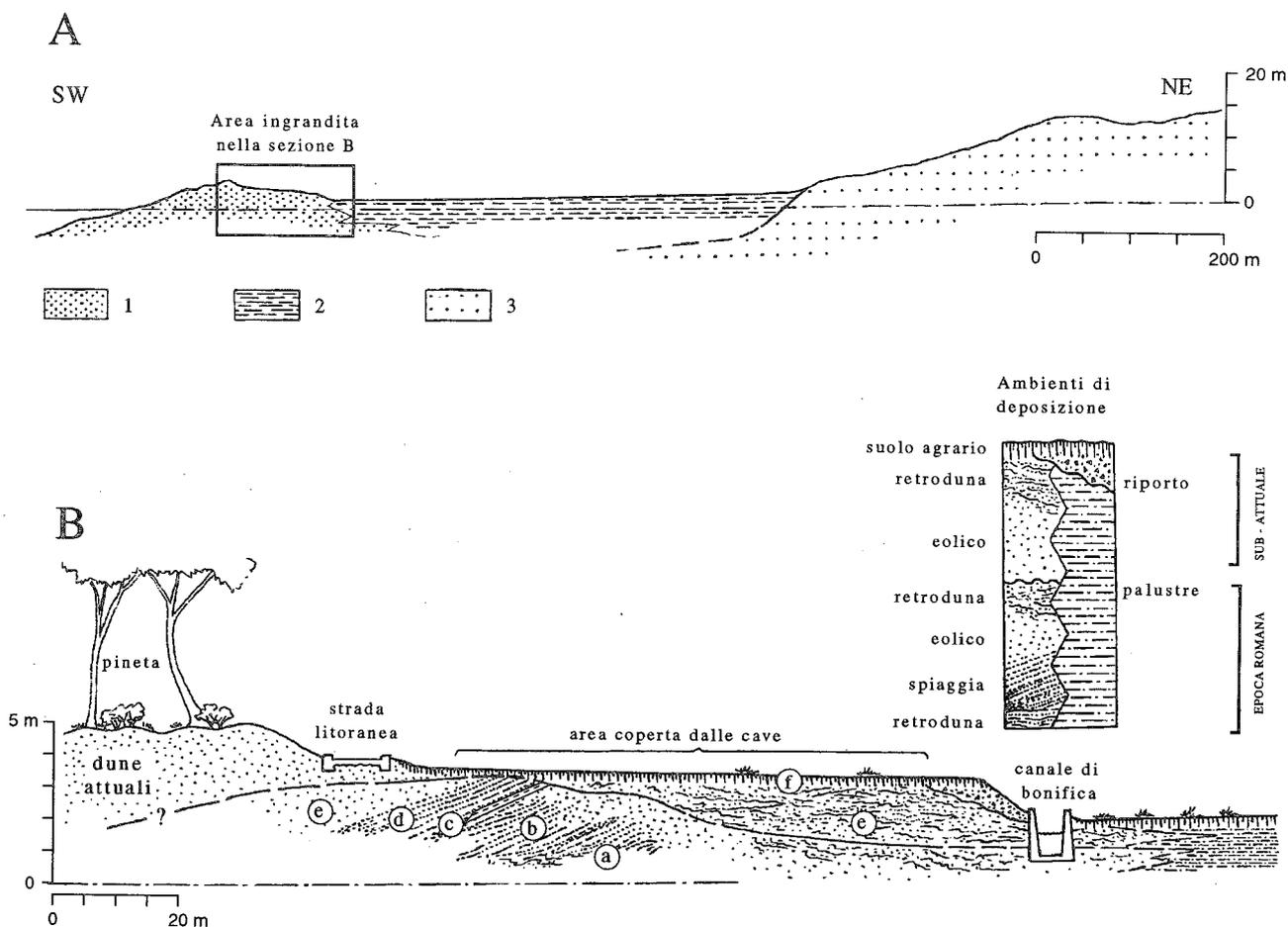


Fig. 2 - A: Sezione geologica schematica riferita alla traccia riportata nella figura 1.

1) sabbie costiere oloceniche; 2) peliti e torbe oloceniche; 3) sabbie e calcareniti tirreniane. B: Sezione geologica di dettaglio relativo al riquadro riportato nella figura 2A.

a) sabbie medie e fini di spiaggia a variabile contenuto di minerali femici; b) sabbie di spiaggia da fini a grossolane con livelli di ghiaietto; c) livello piroclastico in posizione primaria; d) sabbie medie e fini di spiaggia con livelli ricchi di ciottoli e di lamelli-branchi; e) sabbie medie e fini, in parte limose e limi sabbiosi a variabile componente organica; f) suolo agrario.

componente organica. Sia per le sue caratteristiche sedimentologiche che per la sua posizione stratigrafica e geomorfologica questa unità è da connettere ad un ambiente intra e retrodunare dove si alternavano eventi di accumulo eolico ed eventi di pedogenesi e rimaneggiamento ad opera di acque dilavanti, nonché localizzati episodi palustri. Sono stati rinvenuti livelli costituiti quasi esclusivamente da materiale pomiceo risedimentato (Cave 3 e 4 soprattutto) proveniente dallo smantellamento in ambiente subaereo del livello piroclastico di deposizione primaria prima descritto (unità e). L'unità e seppellisce in un punto marginale della cava 4 resti di muratura di probabile recente fattura (metà ottocento-inizio questo secolo), poggianti su blocchi squadri di travertino incassati nelle sabbie dell'unità a.

f) Livello di suolo di color grigio-bruno spesso circa 40-50 cm, corrispondente allo strato arato e composto da sabbia limosa ben addensata con modesta componente di sostanza organica.

I rapporti stratigrafici tra le sei unità sopra descritte sono illustrati nella sezione di Fig. 2B.

L'evoluzione geomorfologica del sito può essere così ricostruita. Su di un primo cordone litorale (unità a) di età tardo-olocenica (BRANCACCIO *et alii*, 1988), si appoggia, a partire da almeno duemila anni fa, un nuovo cordone litorale (unità b) con facies di battigia progredante sino a circa 3 m s.l.m. Questa fase viene chiusa dall'accumulo del livello piroclastico (unità e) presumibilmente da attribuire all'eruzione vesuviana del

79 d.C. deponsi in ambiente subaereo durante una leggera regressione. Una successiva ingressione marina taglia una microfalesia nei depositi piroclastici; segue l'accumulo delle sabbie di spiaggia dell'unità d.

L'accumulo dell'unità e comincia certamente dopo la deposizione dell'unità b (probabilmente solo dopo la messa in posto del livello pomiceo) e termina, presumibilmente, solo recentemente in relazione all'impiantazione della pineta (anni 30-40) che porta alla stabilizzazione dei corpi di duna. Il suolo dell'unità f si sviluppa, infine, a partire dalle opere di spianamento a fini agricoli dell'area.

#### DESCRIZIONE DELLE STRUTTURE DA LIQUEFAZIONE

Pur essendo riconoscibili lungo le pareti di tutte le cave esaminate in un'area complessiva di alcuni ettari, le strutture da liquefazione più frequenti e meglio sviluppate sono state osservate lungo le pareti sud-ovest e nord-est della cava 4 (Figg. 3-7). Le deformazioni sono visibili da appena al di sotto dello strato arato, fino al livello della falda attuale.

Le strutture da liquefazione presentano una notevole varietà di geometrie legate alla distorsione delle strutture primarie: strutture a laminazione convoluta (con alternanze di truogoli e di creste più o meno strizzate), da carico, a fiamma, a cuspidi, diapiriche, nonché da iniezione e da flusso, passanti talora ad omoge-

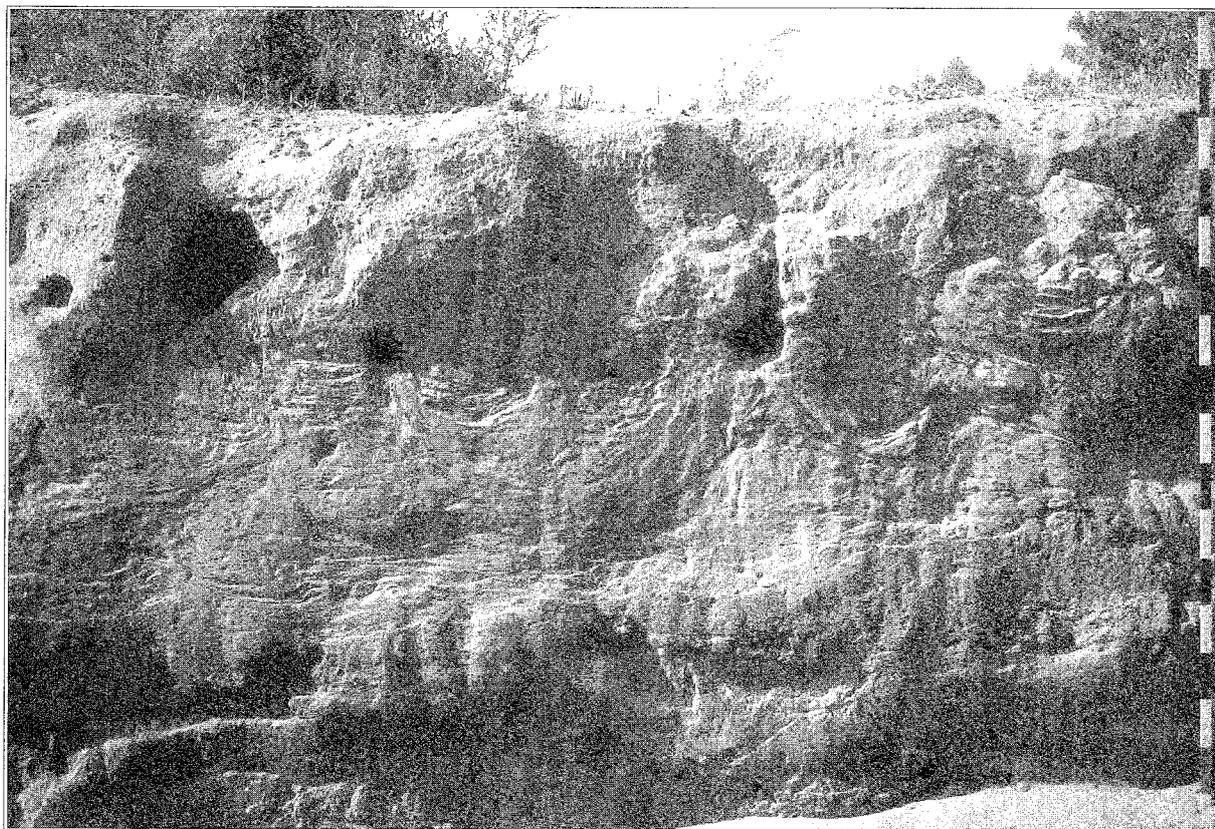


Fig. 3 - Alternanze stratoidi e lentiformi di sabbie medie, sabbie fini con e senza matrice limosa e limi sabbiosi a variabile componente organica con livelli ricchi in pomici (unità e) interessate da vari tipi di strutture da liquefazione (setto centrale della parete sud-occidentale della cava 4. (L'altezza della parete è di 1,50 m circa).

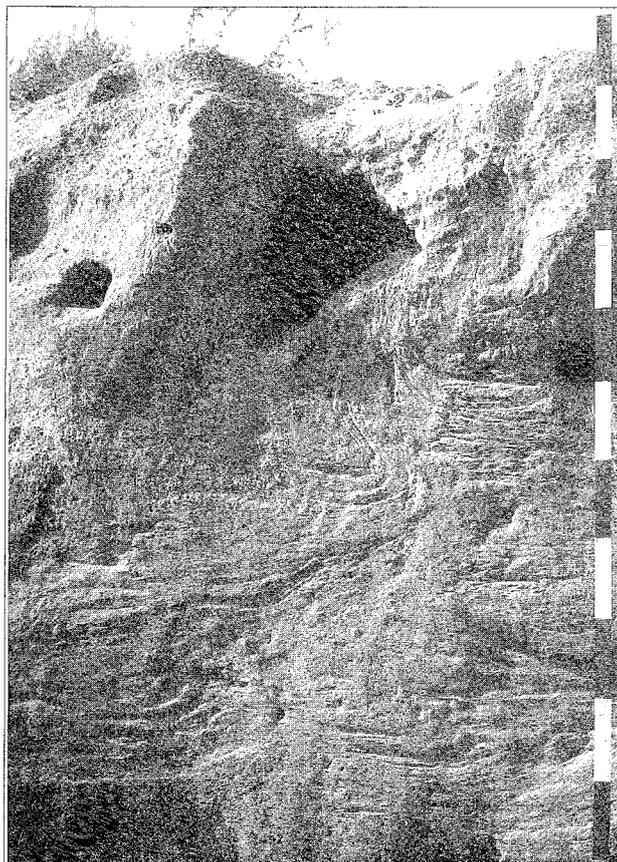


Fig. 4 - Ingrandimento relativo alla parte sinistra della figura 3 che mette in evidenza strutture da liquefazione del tipo laminazione convoluta, a cuspidi e a fiamma cui si associano frequentemente aggregati nodulari (pseudonoduli) di natura prevalentemente pomicea.

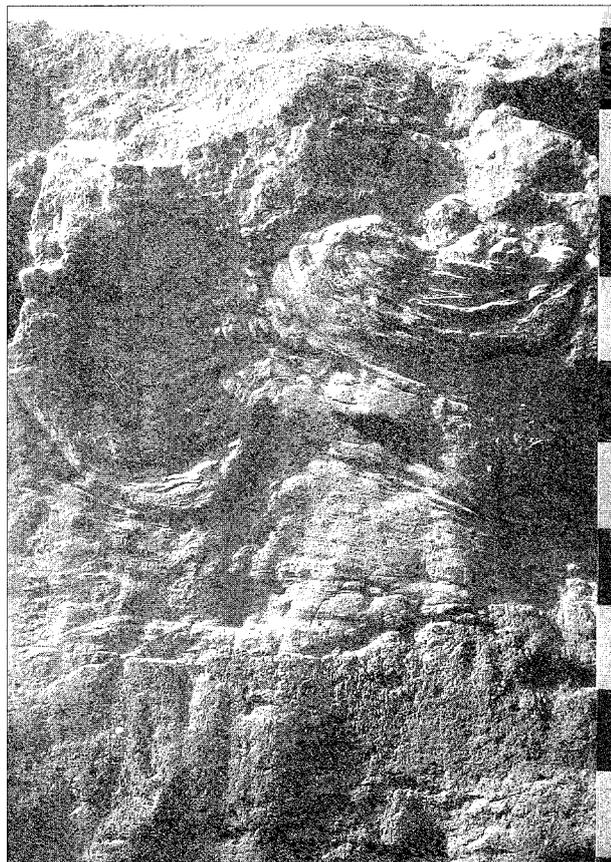


Fig. 5 - Ingrandimento relativo alla parte destra della figura 3 dove si evidenziano strutture del tipo laminazione convoluta e a cuspidi.

niti con frequenti pseudonoduli isolati dai livelli di provenienza.

Oltre che a deformazione duttile di laminazioni preesistenti dovute a comportamento idroplastico dei materiali le strutture osservate denotano, quindi, anche fenomeni di trasferimento laterale e verticale di particelle in ambiente saturo.

I fenomeni di liquefazione hanno interessato solo gli intervalli stratigrafici connotati da fitte variazioni verticali di tessitura e/o composizione, lasciando praticamente indisturbata la laminazione interna del già citato corpo di spiaggia (unità **b**) il quale si presenta tessituralmente omogeneo. Le alternanze a varia tessitura e composizione che caratterizzano l'unità **a** affiorante a tratti alla base di **b** mostrano ugualmente segni di liquefazione e deformazione (Figg. 8, 9).

Particolarmente suscettibili alla deformazione si sono rilevati i livelli contenenti intercalazioni di materiale piroclastico (ad es. la porzione inferiore della parete mostrata in figura 3) derivante dallo smantellamento in ambiente subaereo del livello piroclastico di deposizione primaria (unità **c**). Quest'ultimo risulta invece affetto solo alla base da modestissimi fenomeni da carico a scala centimetrica di dubbia origine. Sembra, che la presenza di una debole cementazione, di probabile origine primaria, renda questa unità **c** non liquefacibile, sebbene la sua bassa permeabilità relativa potrebbe aver indotto liquefazione nel livello sabbioso sottostante.

Piccoli scavi effettuati in vari punti lungo le pareti sud-occidentale e nord-orientale della cava 4 in corrispondenza di strutture a pieghe hanno consentito di osservarne geometria e sviluppo tridimensionale. Le pieghe risultano in parte avere uno sviluppo praticamente orizzontale, in parte le loro creste risultano variabilmente inclinate verso l'interno della cava. L'orientazione dei loro piani assiali è risultata compresa tra N 40 e N 90 con una netta predominanza della direzione N 60.

## DISCUSSIONE

La posizione superficiale dei depositi deformati riferibili maggiormente ad ambiente dunare e retrodunare, la notevole estensione dell'area interessata dal fenomeno e la sua distanza dalla linea di costa consentono di ritenere che le deformazioni osservate non sono da ricondurre né a sovraccarico litostatico, né al carico ciclico indotto da onde di tempesta (cfr. RICCI LUCCHI, 1995). L'ipotesi più ragionevole sembra quindi quella di un'origine cosismica. Partendo da queste considerazioni, è possibile sottolineare i seguenti punti.

Fenomeni di liquefazione a seguito del terremoto irpino del 1980 (vulcanelli di sabbia a grana fina) sono stati segnalati da DA ROIT *et alii* (1981) in un sito posto circa 9 km a NNW di quello di Spineta (località Torre Picentina), ad analoga distanza dal mare e quota as-

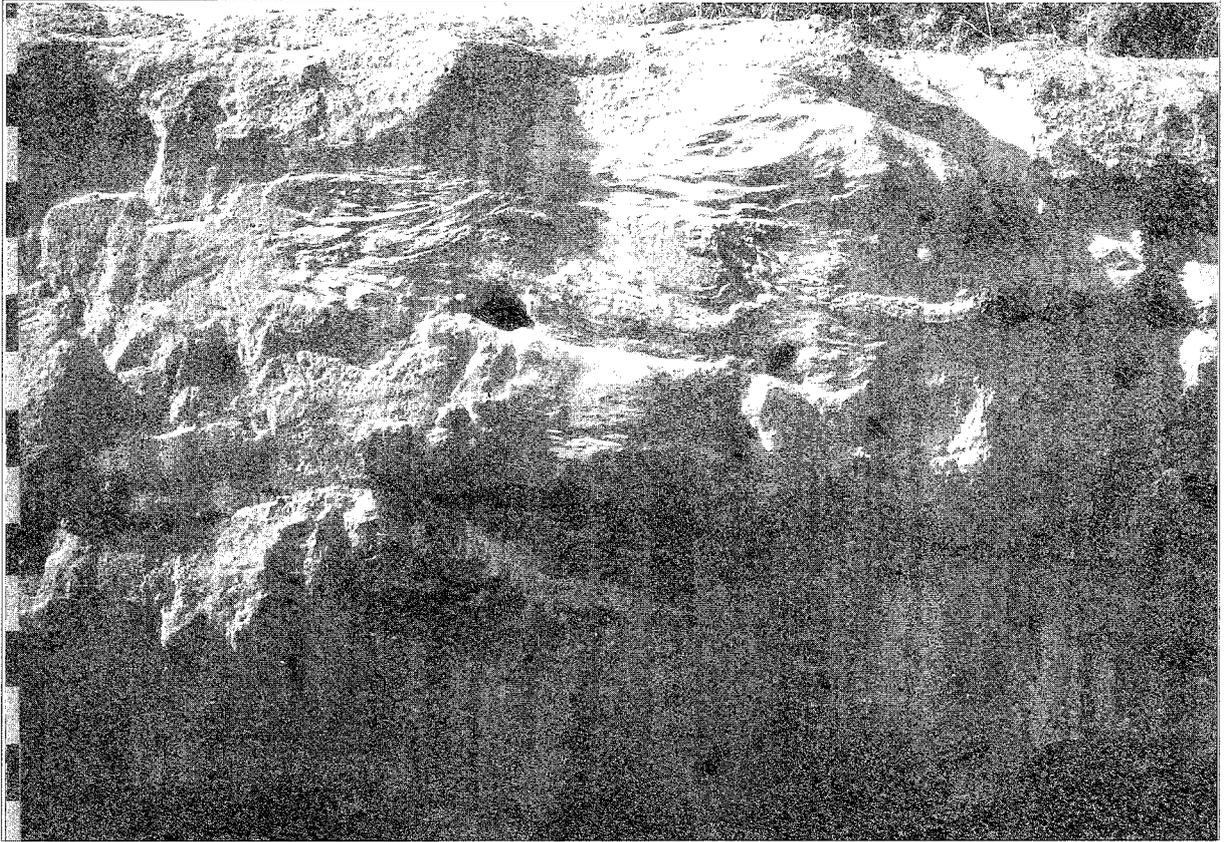


Fig. 6 - Prosecuzione verso destra della parete inquadrata in figura 3 nella cui parte superiore si evidenziano strutture del tipo piega coricata.



Fig. 7 Approfondimenti locali della parete sud-occidentale della cava 4 che consentono di osservare lo sviluppo tridimensionale di strutture a cuspidate. Da notare la presenza diffusa di pseudonoduli di consistenza soprattutto limosa e pomicea.

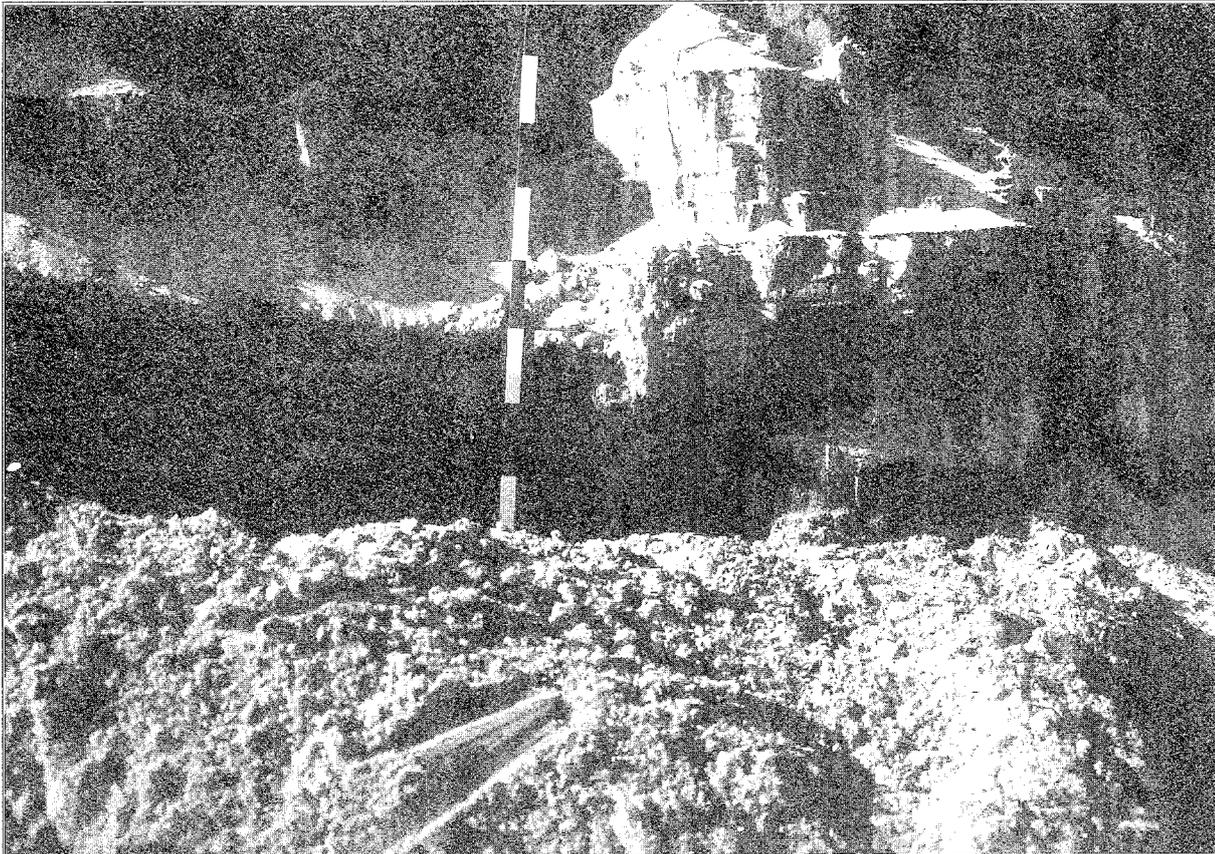


Fig. 8 - Sabbie medie e fini a variabile contenuto di femici (unità a) caratterizzate da strutture da iniezione e affioranti a tratti alla base dell'unità b lungo la parete sud-occidentale della cava 5.



Fig. 9 - L'unità a visibilmente deformata messa alla luce nella cava 1 (parete sud-occidentale).

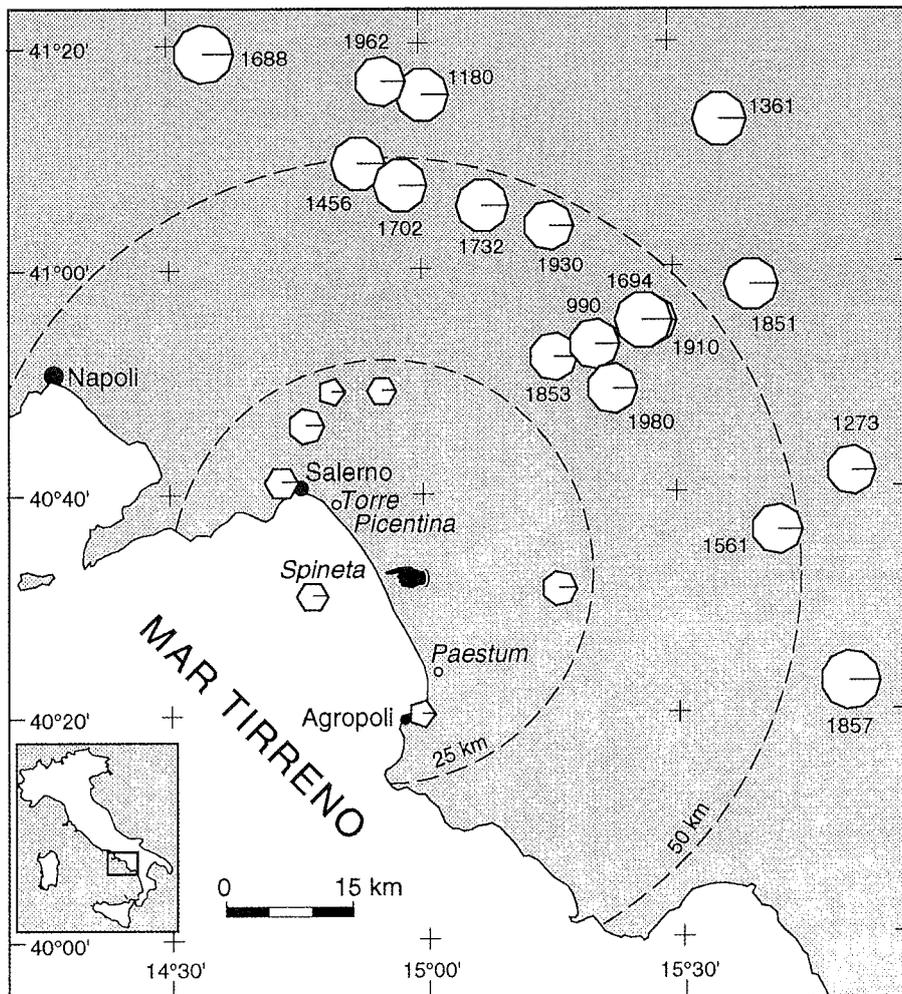


Fig. 10 - Principali eventi sismici storici dal catalogo NT (Stucchi et alii, 1993) nell'intorno del sito studiato.

All'interno del cerchio di 25 km di raggio sono riportati tutti gli eventi; al di fuori solo quelli con intensità macrosismica maggiore o uguale al IX grado MCS. Il numero di lati e le dimensioni dei poligoni sono proporzionali alle intensità; il numero corrisponde all'anno dell'evento. Gran parte degli eventi riportati hanno prodotto nella bassa piana del Sele risentimenti con intensità del VI-VII grado MCS.

soluta. Gli effetti osservati in superficie sono stati di modesta entità e rapidamente obliterati dalle piogge successive e dai lavori agricoli. L'evento irpino, il cui epicentro è posto a circa 50 km di distanza verso nord-est, è stato risentito nell'area con intensità del VI grado M.C.S. (Postpischl, 1985). Mancano registrazioni accelerometriche nelle vicinanze del sito in esame o in aree con analoghe condizioni. La stazione di Mercato S. Severino, posta ad una analoga distanza dall'epicentro e su depositi alluvionali recenti, ma caratterizzata da un'intensità macrosismica del VII grado MCS, ha registrato un'accelerazione massima di poco superiore a 0,1 g (Berardi et alii, 1981). E' quindi probabile che nell'area in esame le accelerazioni siano state di poco inferiori. I fenomeni di liquefazione osservati nelle cave di Spineta mostrano caratteri confrontabili per dimensioni ed estensione a quelli rilevati in superficie a Torre Picentina, confronto effettuato solo in base alle descrizioni dei rilevamenti fatti subito dopo l'evento irpino. Infatti, per quello che riguarda i fenomeni superficiali, le interviste effettuate nei due siti non hanno consentito di raccogliere testimonianze dirette di liquefazioni avvenute a seguito del terremoto del 1980 (il che può essere spiegato dalla modesta entità dei fenomeni e dalla loro rapida obliterazione) mentre un'analisi dei fenomeni profondi da effettuarsi con l'ausilio di scavi o trincee non è stata possibile a causa delle intense modificazioni antropiche avvenute nella zona di Torre Picentina.

Tutto ciò rafforza comunque decisamente l'ipotesi del collegamento dei fenomeni di liquefazione osservati nel sito di Spineta ad un evento sismico, analogamente a quanto ampiamente documentato in letteratura (vedi, ad es., Ambraseys, 1988; Papadopoulos and Lefkopoulos, 1993; Tinsley et alii, 1985).

Le nostre ricerche sono ora finalizzate a stabilire con il maggior dettaglio possibile l'età dell'evento, o degli eventi, di liquefazione registrati nell'area di Spineta, in modo da permettere correlazioni attendibili con i dati di sismicità storica. Poiché il complesso di sedimenti affioranti ha iniziato a deporsi almeno in età romana è molto probabile che successive indagini, estese anche ad altri siti della zona, possano evidenziare una ricorrenza di fenomeni di liquefazione indotti dai numerosi eventi sismici che hanno interessato la Piana del Sele in epoca storica. Ciò dovrebbe rendere possibile la definizione di elementi utili per la valutazione dell'intensità a partire dall'analisi sedimentologica e stratigrafica dei terreni liquefatti. In figura 10 sono evidenziati i principali eventi sismici nell'intorno dell'area secondo il catalogo NT (Stucchi et alii, 1993). Sono evidenziati tutti gli eventi all'interno di un cerchio di 25 km di raggio (terremoti vicini o *near-field*) e solo quelli con intensità MCS uguale o superiore a IX al di fuori. L'analisi delle isosisme disponibili per gli eventi maggiori (Postpischl, 1985) indica che l'area è stata interessata da intensità massime MCS non superiori al VI-VII grado (terremoti del 1694, 1853, 1857, 1980).

Si nota inoltre la presenza di eventi di VII grado anche all'interno del cerchio di 25 km, per cui tale intensità può essere determinata sia da eventi di forte intensità relativamente lontani che più modesti di tipo *near-field*. Il buono stato di conservazione dei templi di Paestum (Fig. 10) è un'ulteriore evidenza dell'assenza di risentimenti di intensità maggiore.

Livelli disturbati da possibile liquefazione ricopro-no resti murari attribuiti ad un periodo successivo alla prima metà dell'ottocento. Se confermati da successive indagini, questi rapporti stratigrafici indicherebbero che il più recente evento deformativo registrato sia da associare ad uno degli eventi degli ultimi 150 anni risentito nell'area con Intensità superiore al VI MCS, tra i quali il sisma del novembre 1980. Ipotizzando che quest'ultimo evento abbia provocato fenomeni di liquefazione non solo a Torre Picentina ma anche a Spine-ta, un problema che si pone per entrambi i siti è legato al fatto che, al momento della nostra osservazione (estate 1994 e maggio 1995), la falda si trovava almeno 1 metro al di sotto degli strati liquefatti. Durante il sisma il livello di falda doveva quindi essere molto più alto, vicino alla superficie topografica, così da mantenere i livelli liquefatti nelle necessarie condizioni di saturazione. Una ricognizione della quantità di pioggia caduta nel periodo ottobre-novembre 1980 ha evidenziato una piovosità elevata, presumibilmente tale da provocare una sufficiente risalita della falda.

In conclusione, deve essere sottolineata la necessità di una certa cautela nell'utilizzo delle paleoliquefazioni per valutazioni di *hazard* sismico, anche dopo l'inequivocabile accertamento dell'origine sismica. Il risultato di questo studio evidenzia come si possa verificare liquefazione anche per valori modesti di intensità macrosismica, quando le condizioni siano particolarmente favorevoli (AMBRASEYS, 1988; TINSLEY *et alii*, 1985; BERARDI *et alii*, 1991). A tale riguardo un aspetto importante, tuttora in corso di approfondimento, è la caratterizzazione geotecnica dei terreni e quindi la determinazione dei parametri quali granulometria, coerenza, densità relativa (FACCIOLI, 1975; HOUSNER, 1985; IACURTO, 1985; SEED *et alii*, 1982; 1984; SIRO, 1977) necessari per la valutazione del potenziale di liquefazione e per la stima delle caratteristiche dello scuotimento subito.

## BIBLIOGRAFIA

- AMBRASEYS N.N. (1988) - *Engineering seismology*. Earthquake Eng. Struct. Dyn., **17**, 1-105.
- AMICK D., GELINAS R., MAURATH G., CANNON R., MOOR D., BILLINGTON E. & KEMPINEN H. (1990) - *Paleoliquefaction Features along the Atlantic Seaboard*. Prepared for U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC 20555 NRC FIN D1682, NUREG/CR - 5613 RA.
- AUDEMARD F.A. & DE SANTIS F. (1991) - *Survey of liquefaction structures induced by recent moderate earthquakes*. Bull. Int. Association Engineering Geology, **44**, 5-16.
- BERARDI R., BERENZI A. & CAPOZZA F. (1981) - *Terremoto campano-lucano del 23 novembre 1980: registrazioni accelerometriche della scossa principale e loro elaborazioni*. Congresso Annuale CNR - PFG "Sismicità d'Italia; stato delle conoscenze scientifiche e qualità della normativa sismica", 12-14 Maggio 1981, Udine, pp. 125.
- BERARDI R., MARGOTTINI C., MOLIN D. & PARISI A. (1992) - *Liquefazioni del terreno in occasione di terremoti storici italiani*. Mem. Soc. Geol. It., **41** (1988), 1145-1151.
- BERARDI R., MARGOTTINI C., MOLIN D. & PARISI M. (1991) - *Soil liquefaction: case histories in Italy*. Tectonophysics, **193**, 141-164.
- BOSI C., CAVALLO R. & FRANCAVIGLIA V. (1973) - *Aspetti geologici e geologico-tecnici del terremoto della valle del Belice del 1968*. Mem. Soc. Geol. It., **12** (2), 81-130.
- BRANCACCIO L., CINQUE A., RUSSO F. & SANTANGELO N. (1988) - *Nuovi dati cronologici sui depositi marini e continentali della Piana del F. Sele e della costa settentrionale del Cilento (Campania, Appennino meridionale)*. Atti 74 Congresso Soc. Geol. It., **A**, 55-62.
- CAVALLIN A., MARTINIS B. & SFONDRINI G. (1977) - *Effetti geologici del terremoto. Fenditure nel terreno e vulcanelli di sabbia*. Riv. Ital. Paleontol. Stratigr., **83** (2), 1-24.
- DA ROIT R., FONTANIVE A., LOJELO L., MUZZI F. & SPAT G. (1981) - *Terremoto campano-lucano del 23 Novembre 1980: evidenze di liquefazione di terreni non coesivi saturi*. Convegno Annuale CNR-PFG "Sismicità d'Italia; stato delle conoscenze e qualità della normativa sismica", 12-14 Maggio 1981, Udine, pp. 14.
- FACCIOLI E. (1975) - *Analisi del potenziale di liquefazione in depositi di terreni non coesivi saturi*. In: Castellani A. "Calcolo di strutture in zona sismica". Tamburini Editore Milano, 136-163.
- GALLI P. & FERRELLI L. (1995) - *A methodological approach for historical liquefaction research*. Bull. Ass. Eng. Geol., Special Publ. 6 "Perspectives in Paleoseismology", 35-48.
- HOUSNER G.W. (Chairman) (1985) - *Liquefaction of soils during earthquakes*. Committee on Earthquake Engineering, Commission on Engineering and Technical Systems, National Research Council. National Academy Press, Washington, D.C., pp. 240.
- IACURTO O. (1985) - *Parametri e metodologie inerenti al fenomeno della liquefazione di formazioni sabbiose*. ENEA RT/PAS/85/2, pp. 33.
- LOWE D.R. (1975) - *Water escape structures in coarse-grained sediments*. Sedimentology, **22**, 157-204.
- MICHETTI A.M. (1994) - *Paleoseismologia e pericolosità sismica: stato delle conoscenze ed ipotesi di sviluppo*. C.N.R. GNDT, Rendiconti, **2**, pp. 88.
- PAPADOPOULOS G.A. & LEFKOPOULOS G. (1993) - *Magnitude-distance relations for liquefaction in soil from earthquakes*. Bull. Seism. Soc. Am., **83** (3), 925-938.
- POSTPISCHL D. (ed.) (1985) - *Atlas of isoseismal maps of Italian earthquakes*. C.N.R., Progetto Finalizzato Geodinamica, Quad. Ricerca Sci., **114** (2A), pp. 164.
- RICCI LUCCHI F. (1995) - *Sedimentological indicators of paleoseismicity*. Bull. Ass. Eng. Geol., Special Publ. 6 "Perspectives in Paleoseismology", 7-17.
- SAUCIER R.T. (1991) - *Geoarchaeological evidence of strong prehistoric earthquakes in the New Madrid (Missouri) seismic zone*. Geology, **19**, 296-298.
- SEED H.B. (1970) - *Soil problems and soil behavior*. In: R.L. Wiegel (ed.), Earthquake Engineering. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 227-252.
- SEED H.B. & IDRISS I.M. (1982) - *Ground motion and soil liquefaction during earthquakes, monografia*. E.E.R.I., Berkeley, California, 227-251.
- SEED H.B., TOKIMATSU K., HARDER L.F. & CHUNG R.M. (1984) - *The influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations*. Earthquake Engineering Research Center. Report UCB/EERC - 84/15, pp. 50.
- SEILACHER A. (1969) - *Fault-graded beds interpreted as seismites*. Sedimentology, **13**, 155-159.
- SIMS J.D. (1975) - *Determining earthquake recurrence intervals from deformational structures in young lacustrine sediments*. Tectonophysics, **29**, 141-152.
- SIRO L. (1977) - *Contributo all'analisi della liquefazione delle sabbie. Fenomeni di liquefazione avvenuti in Friuli durante i terremoti del 6 maggio e 15 settembre, 1976*. Geol. Tec., **1**, 21-30.
- STUCCHI M., CAMASSI R. & MONACHESI G. (1993) - *NT: il catalogo di lavoro del GNDT (giugno 1993), Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti - CNR, Linea di Ricerca 1 "Zonazione sismica e riclassificazione sismica", Gruppo di Lavoro 1.2.2 "Macrosismica", Rapporto Interno, Riservato*.
- THORSON R.M., CLAYTON W.S. & SEEBER L. (1986) - *Geologic evidence for a large prehistoric earthquake in eastern Connecticut*. Geology, **14**, 463-467.
- TINSLEY J.C., YOUND T.L., PERKINS D.M., & CHEN A.T.F. (1985) - *Evaluating liquefaction potential*. In: J.I. Ziony (ed.), Evaluating Earthquakes Hazards in the Los Angeles Region - An Earth Science Perspective. U.S. Geol. Surv. Prof. Pap., **1360**, 263-316.
- VITTORI E., SERVA L. & SYLOS LABINI S. (1991) - *Paleoseismology: review of the state of the art*. Tectonophysics, **193**, 9-32.

