

## Il Fenomeno della Liquefazione

In geotecnica con il termine **liquefazione** si intende la perdita di resistenza di terreni saturi d'acqua sotto sollecitazioni statiche o dinamiche, in conseguenza delle quali i depositi terrosi raggiungono una condizione di fluidità pari a quella di una massa viscosa. Ciò avviene solitamente quando, sotto l'azione di carichi applicati o di forze idrodinamiche, la pressione dell'acqua nei pori del terreno, detta pressione interstiziale, aumenta progressivamente fino ad uguagliare la pressione totale di confinamento, cioè quando gli sforzi efficaci a carico dello scheletro solido del materiale, dai quali dipende la resistenza al taglio, si riducono a zero.

I terreni suscettibili di liquefazione sono quelli in cui la resistenza alla deformazione è mobilizzata per solo attrito tra le particelle; vale a dire i terreni incoerenti (sabbie e limi).

Nei materiali coesivi (argille) le forze interlamellari riducono la mobilità delle particelle e, benché sotto l'azione di carichi la pressione interstiziale aumenti, il decadimento della resistenza è graduale e non consente il verificarsi del fenomeno.

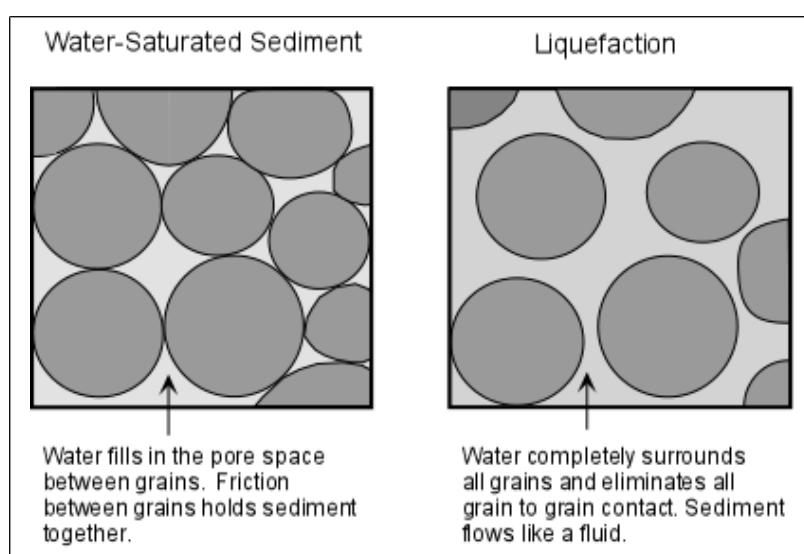
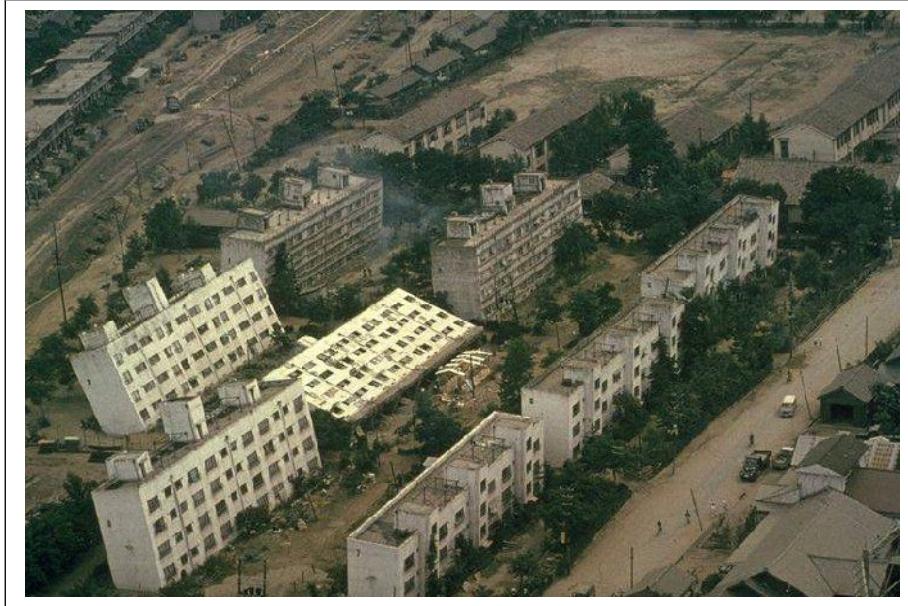


Fig. 1 – Annullamento della resistenza di attrito in seguito a liquefazione

## Liquefazione dei depositi durante i terremoti

È oggi ben noto che la liquefazione dei depositi incoerenti saturi (come i paleoalvei della bassa pianura emiliana) sotto azione sismica è dovuta all'incremento progressivo della pressione interstiziale. Ciò avviene principalmente per effetto delle sollecitazioni di taglio ad andamento ciclico irregolare, indotte dalla propagazione verso l'alto delle onde sismiche S (secondarie) provenienti dalle formazioni più rigide sottostanti.



*Fig. 2 – Effetti della liquefazione del terreno indotta dal terremoto del 1964 a Niigata (Giappone)*

A Niigata, in Giappone, nel terremoto del 16 giugno 1964 (magnitudo Richter 7,5), si verificò il ribaltamento di decine di edifici, ben realizzati dal punto di vista antisismico (a cassoni rigidi) ma poggianti su depositi sabbiosi saturi d'acqua che andarono soggetti a completa liquefazione (Fig. 2).

In diversi punti della bassa pianura modenese e ferrarese, dove sono molto diffusi i paleoalvei sabbioso-limosi dei fiumi emiliani (Po, Panaro e Reno), nel terremoto del 20 maggio 2012 (magnitudo Richter 5,9) si sono registrati numerosissimi casi di liquefazione con espulsione in superficie di acqua mista a sabbia lungo fenditure del terreno (Figg. 3 e 4).



*Fig. 3 – Risalita di acqua mista a fango sabbioso-limoso presso Scorticino (FE)*



*Fig. 4 – Dettaglio di terreno liquefatto con mulinelli di fango (sand boils) presso Gavello Ferrarese (zona epicentrale)*

Sotto tali azioni, infatti, un volume elementare di terreno sciolto tende a modificare la sua struttura, con un rapido aumento della pressione interstiziale. Se il materiale non è molto addensato e se il terremoto ha intensità e durata elevate, dopo un certo numero di scuotimenti sismici la pressione interstiziale può uguagliare la pressione di confinamento e le particelle cominciano a galleggiare nell'acqua generando la liquefazione. In seguito (nel giro di pochi minuti nel caso del terremoto emiliano), acqua mista a sabbia viene espulsa verso la superficie attraverso fenditure del terreno o risalendo lungo i tubi dei pozzi (Figg. 5 e 6).

I fenomeni più importanti che accompagnano la liquefazione sono pertanto:

- 1) le modificazioni nel regime delle pressioni all'interno del terreno, con una simultaneità degli effetti di aumento, ridistribuzione e dissipazione delle pressioni interstiziali;
- 2) le mutazioni nell'assetto strutturale durante e dopo il fenomeno (Fig. 7).



*Fig. 5 – Ampia fenditura del terreno con rigetto di 1,5 m dalla quale è uscita una gran quantità di sabbia liquefatta presso San Carlo (FE)*



*Fig. 6 – Accumulo di sabbia espulsa da un pozzo (già ripulito) a Sant'Agostino (FE)*

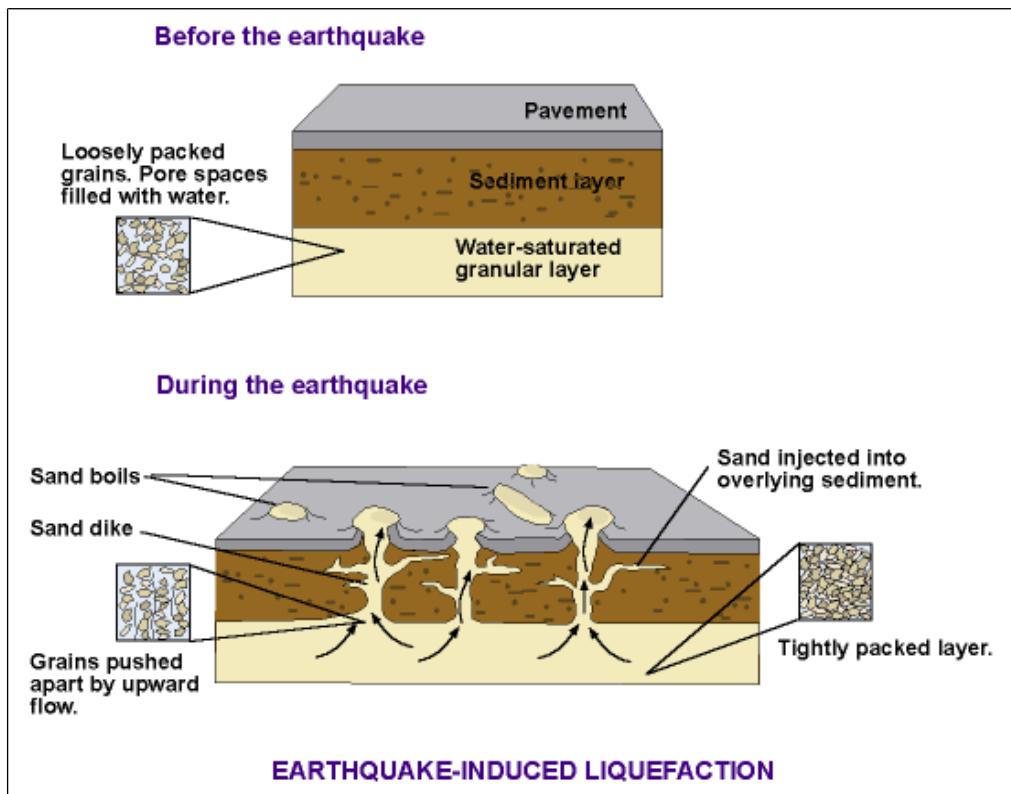


Fig. 7 – Schema del fenomeno della liquefazione indotta da terremoto

Le manifestazioni in superficie dell'avvenuta liquefazione di un deposito possono essere molto varie e possono consistere in:

- mulinelli di sabbia (*sand boils*), formati da sospensioni di acqua e particelle sabbiose/limose che fuoriescono dal terreno sottostante, attraverso fessure e fratture negli strati più superficiali;
- cedimenti nel terreno, conseguenti all'addensamento degli strati incoerenti successivamente alla espulsione in superficie di grandi volumi di terra e alla dissipazione delle pressioni interstiziali;
- oscillazioni del terreno, allorché la liquefazione in strati profondi raggiunge i sovrastanti strati più rigidi, facendoli oscillare avanti e indietro e producendo quindi delle fratture, degli avvallamenti e dei danni alle strutture sovrastanti (rottura di tubazioni ecc.);
- galleggiamento di infrastrutture sepolte (serbatoi, oleodotti ecc.) che risultano più leggere del terreno circostante liquefatto.

Per quanto riguarda il punto b), recenti indagini, ripetute a distanza di alcuni giorni nei centri abitati maggiormente interessati da liquefazione nel sisma del 20 maggio 2012, hanno confermato che a distanza di oltre una settimana dall'evento il suolo si sta ancora abbassando, con tutte le conseguenze che ciò comporta per gli edifici e le strade interessati dal fenomeno (Fig. 8).

Nel caso di fenomeni di liquefazione molto estesi, si può arrivare anche alla formazione di specchi d'acqua.

Durante i terremoti possono inoltre avversi notevoli fluttuazioni dei livelli di falda che possono contribuire ad accelerare lo sviluppo delle pressioni interstiziali o anche produrre fenomeni di sifonamento (Fig. 9).

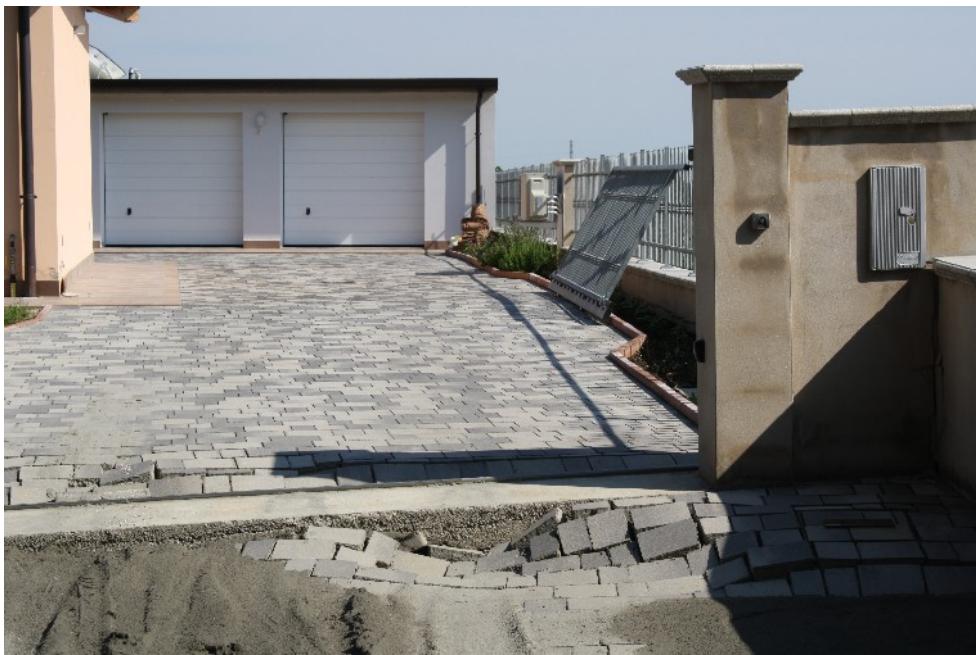


Fig. 8 – Abbassamento del suolo conseguente alla liquefazione in corrispondenza di un passo carraio a San Carlo (FE)

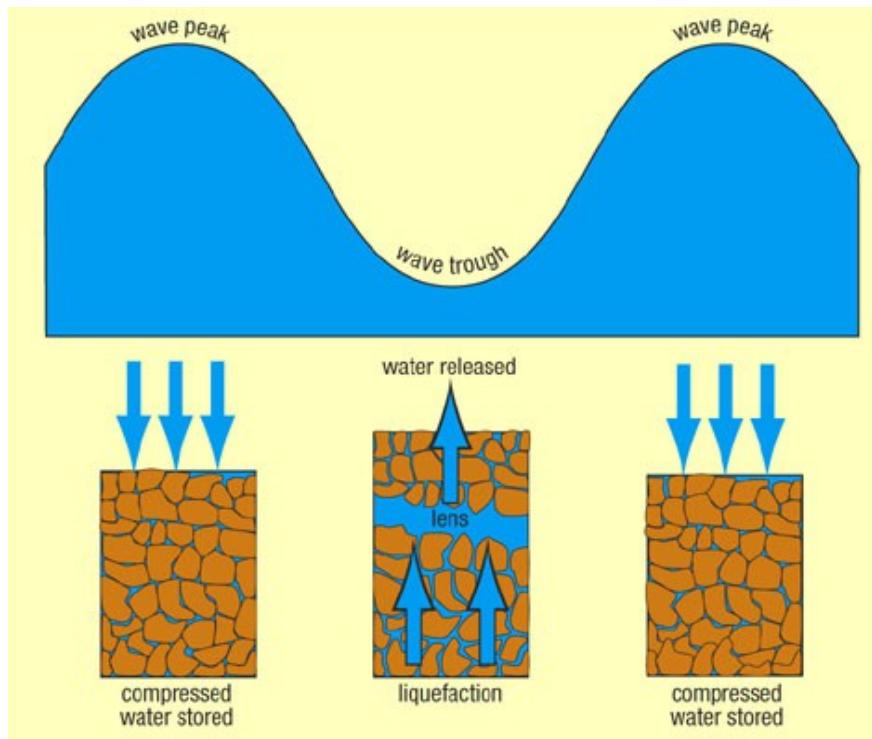


Fig. 9 – Fluttuazioni dei livelli piezometrici e loro influenza sulla liquefazione