

# Congelamento di campioni incoerenti per il trasporto e la preparazione dei provini

FABRIZIO PELLI\*

## 1. Introduzione

In questa nota è presentata una tecnica di congelamento di campioni incoerenti, il cui scopo è quello di limitare il disturbo durante il trasporto e la preparazione dei provini per prove geomeccaniche di laboratorio. Sono inoltre descritte alcune prove di congelamento effettuate in laboratorio, utilizzando campioni di sabbia con contenuto in limo variabile tra il 10 e il 40 per cento.

Il problema di ottenere campioni di terreno rappresentativi delle condizioni di sito per prove geomeccaniche di laboratorio è di difficile soluzione, soprattutto in formazioni non coesive. La ricostituzione dei campioni in laboratorio tenendo conto della densità relativa stimata in sito è quasi sempre insoddisfacente, soprattutto per la determinazione dei parametri di deformabilità e di resistenza alla liquefazione del terreno. L'utilizzo di campionatori a parete sottile muniti di pistone fisso, pur limitando il disturbo in fase di campionamento, non consente di evitare gli effetti delle vibrazioni subite durante il trasporto, e delle sollecitazioni in fase di estrusione e preparazione dei provini in laboratorio.

Al fine di ottenere campioni indisturbati si è talvolta applicato il metodo del congelamento in sito [ad es., YOSHIMI *et al.*, 1984; YOSHIMI *et al.*, 1989; SEGO *et al.*, 1993], che consiste nel congelamento di un blocco di sabbia posto al di sotto del livello di falda, ad esempio mediante sistema a circolazione di azoto liquido, con successivo prelievo di carote congelate. Questo metodo, fortemente raccomandato per studi di liquefazione [ISHIHARA, 1993], è tuttavia costoso e non facilmente applicabile in condizioni ambientali particolari, ad esempio in mare o ad elevate profondità. Inoltre la presenza di frazioni limose non trascurabili può rendere difficoltoso il processo di congelamento, che deve essere condotto in modo da minimizzare il rigonfiamento del terreno saturo dovuto all'espansione dei fluidi interstiziali.

Una tecnica più semplicemente applicabile con metodologie convenzionali, oggetto delle prove descritte in questa nota, consiste nel congelamento dei cam-

pioni sabbiosi subito dopo il prelievo, e nel mantenimento dei campioni in stato di congelamento durante le fasi di trasporto, estrusione e preparazione dei provini in laboratorio. Tecniche di questo tipo sono state sperimentate nel corso di studi di liquefazione, ed hanno dimostrato di fornire buoni risultati in sabbie poco o mediamente addensate [PLEWES *et al.*, 1993]. ISHIHARA [1985] ha rilevato che in sabbie con densità relativa compresa tra il 20 e il 60 per cento, campioni di buona qualità possono essere ottenuti mediante campionatori tipo Osterberg. D'altro canto per densità relative superiori al 70 per cento il disturbo dovuto all'infissione della fustella è più rilevante. Il congelamento dei campioni è adottato anche per il contenimento del disturbo in sabbie ad elevata densità relativa [DUSSEAULT *et al.*, 1984] tipiche di alcuni giacimenti di idrocarburi.

Naturalmente lo scopo del metodo descritto non è quello di reintegrare le proprietà dei terreni modificate durante il campionamento, ma semplicemente quello di ridurre il disturbo, tutt'altro che trascurabile, dovuto alle fasi di trasporto e preparazione dei provini. Va ricordato che l'inevitabile disturbo può comunque essere quantificato mediante confronto di misure effettuate in sito e in laboratorio [ad es., DUSSEAULT e VAN DOMSELAAR, 1982]. Vi è inoltre la possibilità di compensare in parte il disturbo mediante tecniche appropriate [TOKIMATSU *et al.*, 1986].

Nel seguito di questa nota sono descritte alcune prove condotte in laboratorio per verificare una tecnica per il congelamento dei campioni e la preparazione dei provini congelati. La valutazione del disturbo dei provini in rapporto alle condizioni di sito non rientra nello scopo di queste prove che sono state condotte su terreni ricostituiti in laboratorio.

## 2. Descrizione delle Prove

Le prove sono state condotte su tre campioni di sabbia e sabbia limosa del Nord Adriatico con contenuto in limo del 10, 18 e 40 per cento rispettivamente. Le curve granulometriche delle tre sabbie utilizzate per le prove sono presentate nella Figura 1. Ogni prova ha comportato l'uso di due fustelle in

\* Dott. Ing. Fabrizio Pelli, Consulente Geotecnico, Bogliasco (GE).

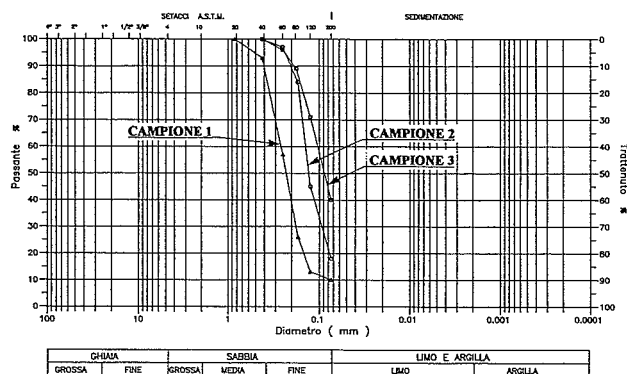


Fig. 1 - Curve granulometriche delle tre sabbie utilizzate per le prove.

acciaio a parete sottile del tipo usato correntemente per indagini a mare (diametro interno: 72 millimetri). Le fustelle sono state riempite con sabbia asciutta per una lunghezza di 80 centimetri; la sabbia è stata compattata per strati conseguendo una densità relativa di circa il 60 per cento. Le fustelle sono state messe in posizione verticale, saturando quindi il terreno facendo fluire acqua dal basso verso l'alto e mantenendo i campioni in acqua per almeno quattro ore. I campioni così ricostituiti sono stati considerati rappresentativi, ai fini delle prove, di campioni indisturbati appena prelevati in sito.

Il congelamento del campione deve essere effettuato facendo attenzione a non provocare l'eccessiva dilatazione del terreno saturo. A questo scopo si può optare per un congelamento di tipo monodirezionale [PLEWES *et al.*, 1993], dove la fustella è congelata gradualmente a partire da una delle due estremità, permettendo al fluido in eccesso di fuoriuscire dalla estremità opposta; oppure si predisporrà un parziale drenaggio del campione [YOSHIMI *et al.*, 1984] prima del congelamento. Nelle prove oggetto di questa nota si è optato per la seconda soluzione che è più facilmente applicabile a terreni con contenuti in fini non trascurabili, come quelli utilizzati in questo studio. Per consentire il drenaggio nei terreni più ricchi in fini, si è applicata all'estremità inferiore delle fustelle una leggera depressione mediante pompa di vuoto.

Le quantità di acqua in uscita dalle fustelle sono state misurate per tenere sotto controllo il grado di saturazione del terreno durante la fase di drenaggio. I gradi di saturazione iniziale (prima del drenaggio) e finale (dopo il drenaggio) sono riportati nella Tabella I. Nella stessa tabella sono anche indicati i tempi di drenaggio mediante gravità e depressione. Questi valori sono forniti a scopo puramente indicativo, in quanto in questa fase non si è cercato di ottimizzare le modalità e i tempi di drenaggio, ma soltanto di verificarne l'efficacia in terreni con contenuto in fini

Tabella I - Gradi di saturazione e tempi di drenaggio dei campioni.

Campione	Contenuto in limo (%)	Saturazione iniziale <sup>1</sup> (%)	Saturazione finale <sup>2</sup> (%)	Tempi di drenaggio per gravità	Tempi di drenaggio con depressione
1	10	97.2	65	109 min.	—
2	18	96.0	71	24 ore	8 ore
3	40	99.0	84	—	150 ore

<sup>1</sup> Dopo la saturazione.

<sup>2</sup> Dopo il drenaggio.

non trascurabili. Si nota tuttavia che per contenuti in fini elevati (Campione 3) i tempi di drenaggio aumentano drasticamente, indicando che in sabbie fortemente limose il metodo potrebbe in pratica risultare di difficile applicazione.

Dopo il drenaggio i campioni sono stati posti in posizione orizzontale in un congelatore, e mantenuti ad una temperatura di  $-20^{\circ}\text{C}$  per almeno 24 ore.

Le operazioni fino a qui descritte devono essere effettuate in sito (nel laboratorio di bordo nel caso di campagne a mare). Dopo il trasporto, che dovrà avvenire con mezzo refrigerato o mantenendo i campioni a contatto con ghiaccio secco, le fustelle arriveranno nel laboratorio (di terra) dove verranno effettuate le operazioni descritte nel seguito.

La misura dell'allungamento del campione dovuto al congelamento fornisce una prima indicazione sull'eventuale disturbo indotto. Nel campione con il 40 per cento di fini e il più alto grado di saturazione al momento del congelamento si è rilevato un allungamento dello 0.57 per cento che è simile a quello osservato nel corso di studi [PLEWES *et al.*, 1993] basati sulla tecnica del congelamento monodirezionale.

Il campione può essere estruso con un normale estrusore a pistone, scaldando brevemente la fustella con una torcia a propano come indicato da MATTAX *et al.* [1975]. In questo modo possono essere ottenute carote congelate di buona qualità (Figura 2).

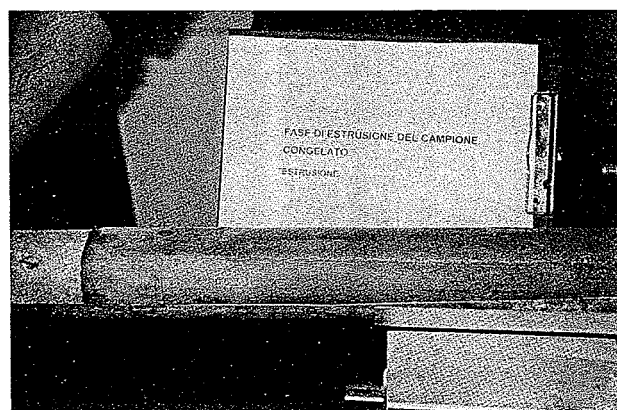


Fig. 2 - Estrusione della carota congelata.

I campioni da sottoporre a prova in cella triassiale sono ottenuti tagliando la carota con una sega circolare diamantata, utilizzando acqua a temperatura ambiente come fluido di circolazione (Figura 3). I provini possono quindi essere posti nuovamente in un congelatore, pronti per essere utilizzati quando opportuno. Come evidente nella Figura 4, i campioni non mostrano segni visibili di disturbo legato al congelamento, fessurazione o lenti di ghiaccio.

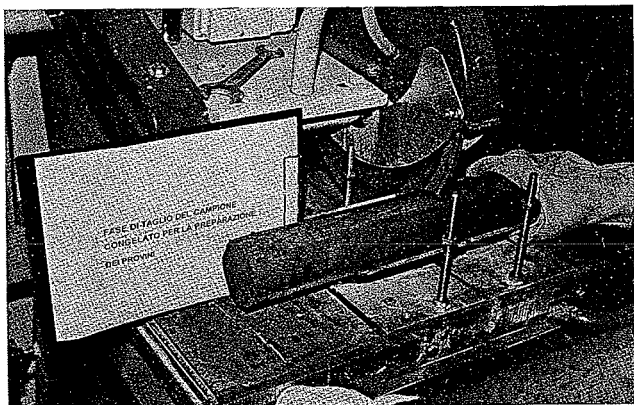


Fig. 3 - Taglio della carota congelata.

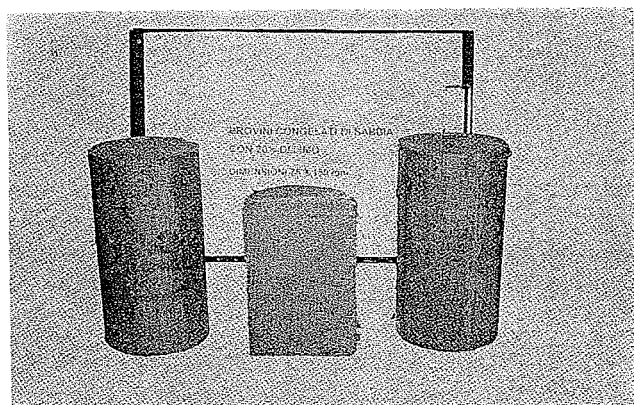


Fig. 4 - Provini di terreno congelato.

Qualora si vogliono preparare provini con diametro inferiore a quello della carota, si può utilizzare un carotiere diamantato da laboratorio mantenendo il fluido di circolazione a bassa temperatura per evitare il parziale scongelamento dei campioni. Il provino visibile nella Figura 5, con diametro di 38 millimetri, è stato ottenuto utilizzando una miscela acqua-glicerina al 50 per cento, mantenuta ad una temperatura di circa  $-18^{\circ}\text{C}$ .

La messa in posizione del provino congelato in cella triassiale (Figura 6) può essere effettuata senza rischi di deformazioni e disturbo della sabbia. La cella viene chiusa e riempita con acqua, applicando una pressione di confinamento di circa 30 kPa. Il campione viene quindi lasciato scongelare per alcune ore a temperatura ambiente e in condizioni drenate. Si procede infine alla saturazione del campione ed all'esecuzione delle prove con le tecniche consuete.

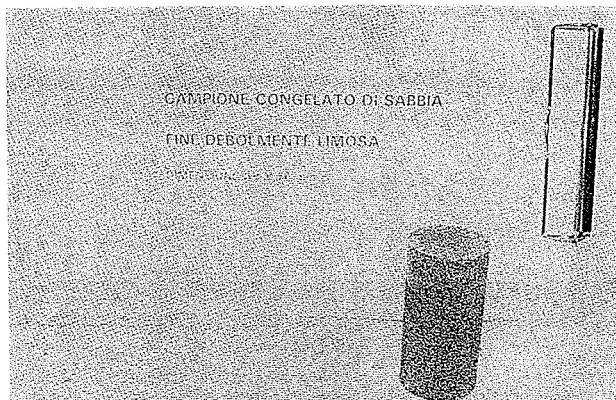


Fig. 5 - Provino di piccolo diametro ottenuto carotando la carota congelata.

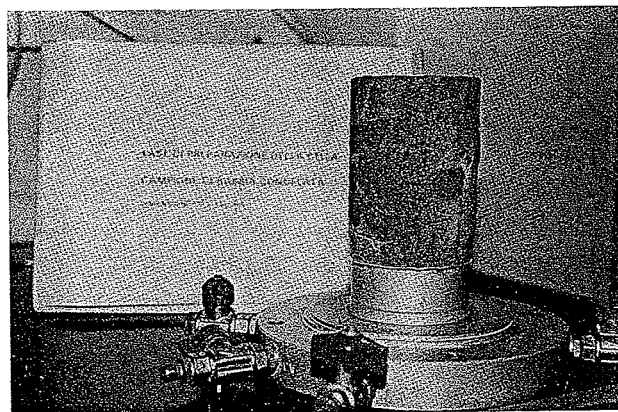


Fig. 6 - Provino congelato sul basamento della cella triassiale.

### 3. Conclusioni

Le prove effettuate indicano che tecniche di congelamento di campioni sabbiosi o sabbio-limosi possono essere applicate mediante metodologie relativamente semplici, attuabili anche in laboratori convenzionali e per campagne di indagini di medio impegno. Si ritiene che una più vasta utilizzazione di queste metodologie possa consentire in un prossimo futuro una migliore caratterizzazione dei terreni non coesivi in laboratorio.

### 4. Ringraziamenti

Si ringraziano i Dott. C. Baracco, L. Minetti e S. Vergano che hanno condotto le prove in laboratorio.

### BIBLIOGRAFIA

DUSSEAU M.B. e H.R. VAN DOMSELAAR (1982) - *Unconsolidated sand sampling in Canadian and Venezuelan waters*. Revista Tecnica Intevp, vol. II., n. 2, pp.165-174.

- DUSSEAULT M.B., H.SODERBERG e K. STERNE (1984) - *Preparation techniques for oil-sand testing*. Geotech. Testing J., GTJODJ, vol. VII, n. 1, pp. 3-9.
- ISHIHARA K., (1985) - *Stability of natural deposits during earthquakes*. Proc. 11th Int. Conf. Soil Mech., San Francisco, vol. I, pp. 321-376.
- ISHIHARA K. (1993) - *Liquefaction and flow failure during earthquakes*. The 33rd Rankine Lecture, Géotechnique, vol. XXXXIII, n. 3, pp. 351-415.
- MATTAX C.C., R.M. MCKINLEY e A.T. CLOTHIER (1975) - *Core analysis of unconsolidated and friable sands*. SPE 4986, JPT December, pp. 1423-1432.
- PLEWES H.D., V.S. PILLAI M.R. MORGAN e B.L. KILPATRICK (1993) - *In-situ sampling, density measurements and testing of foundation soils at Duncan Dam*. Proc. 46th Annual Canadian Geotech. Conf., Saskatoon, Canada.
- SEGO D.S., P.K. ROBERTSON, S. SASITHARAN, B.L. KILPATRICK e V.S. PILLAI (1993) - *Ground freezing and sampling of foundation soil at Duncan Dam*. Proc. 46th Annual Canadian Geotech. Conf., Saskatoon, Canada.
- TOKIMATSU K., T. IAMAZAKI e Y. YOSHIMI (1986) - *Soil liquefaction evaluations by elastic shear moduli*. Soils and Foundations, Japanese Society of Soil Mech. Found. Engrg., vol. XXVI, n. 1, pp. 25-35.
- YOSHIMI Y., K. TOKIMATSU, O. KANEDO e Y. MAKIHARA (1984) - *Undrained cyclic shear strength of a dense Niigata sand*. Soils and Foundations, Japanese Society of Soil Mech. Found. Engrg., vol. XXIV, n. 4, pp. 131-145.
- YOSHIMI Y., K. TOKIMATSU e Y. HOSAKA (1989) - *Evaluation of liquefaction resistance of clean sands based on high quality undisturbed samples*. Soils and Foundations, Japanese Society of Soil Mech. and Found. Engrg., vol. XXIX, n. 1, pp. 93-104.