

Vibrazioni del terreno prodotte dalle mine in galleria — dati sperimentali rilevati durante lo scavo con mine della galleria pilota di Mersey del diametro di 12' (J. V. DAVIES)

Le caratteristiche delle onde sismiche prodotte dagli scoppi sono la frequenza e l'ampiezza.

La frequenza dipende dalla natura del terreno, l'ampiezza dal tipo di terreno, dall'entità della carica e dalla distanza della mina.

Si propone una variante della formula di Morris, che nel caso esaminato si è dimostrata poco esatta.

Tendenze nella progettazione e costruzione delle gallerie per fognature in Australia (D. L. PERLEY et al.).

Parla dei 56 km di gallerie fognanti costruite negli ultimi 15 anni e dei 64 km in esecuzione.

Accenna alle procedure di sviluppo dei progetti, alle caratteristiche idrauliche, alla corrosione, alla costruzione delle piccole fogne, di quelle grandi, e di quelle principali. Parla dello scavo in roccia dura ed in terreno sciolto, del rivestimento, dei servizi (elettrici, ventilazione, aria compressa e pompe). Accenna agli avanzamenti (produzione max m 4,30 per volata, con avanzamenti settimanali di 32 ÷ 40 ml). Descrive gli scarichi ed il tratto subaqueo sotto il fiume Yarra.

Impianto idroelettrico delle cascate Churchill

Situate nel Labrador, sottendono un bacino di 93.000 kmq, con pioggia media annua di 400 mm e 4 m di neve.

Il dislivello, su oltre 20 miglia di corso, è di 317 m, la portata di 1.400 mc/sec.

L'impianto comporta una serie di sbarramenti, bacino di carico e centrale in caverna.

Il suo costo è di oltre 440 milioni di sterline.

Tutto lo scavo in galleria ricade in gneiss granitico omogeneo, che ha richiesto lavori di protezione con bulloni ed altri sistemi.

Dati principali:

— galleria d'accesso lunga 1600 m, sezione 10 × 8,50 m;

— centrale di m 296 × 24,70 × 47;

— due gallerie di scarico, ciascuna lunga oltre un miglio e con sezione m 13,70 × 18,30;

— condotta forzata lunga 320 m, pendenza 58° e diametro da 6,70 a 7,90 m.

Rassegna delle principali gallerie stradali in Inghilterra (F. G. FERRIER)

L'articolo passa in esame le 6 principali gallerie stradali britanniche; alla fine una tabella di confronto delle loro caratteristiche.

Gallerie del Réseau Express Régional in Francia (A. BOIS)

Sono generalmente a doppio binario (Ø m 8,70) ed alcune a un binario (Ø m 6,10).

Le stazioni di Parigi sono di luce 21 ÷ 25 m e lunghe 225 m.

Si accenna alla geologia della zona ed ai metodi costruttivi: in galleria artificiale; sotto la Senna; in galleria naturale. Ci si sofferma sui tratti costruiti con lo scudo.

Esperienze di scavo con fresatrice di una galleria in roccia dura (P. HAMBACH)

L'articolo è anche riprodotto in italiano nella rivista « Costruzioni » n. 172, Aprile 1970, ed illustra i favorevoli risultati conseguiti dalla fresatrice Wirth TB11-333 con testa rotante a 26 rulli con sfere in metallo duro durante lo scavo di una discenderia lunga m 1140, inclinata di 33°. La perforazione interessò rocce granitiche di elevata durezza e tenacità (resistenza allo schiacciamento 2400 km/cm²) e fu effettuata con diversi diametri. Si ottenne l'avanzamento medio di 0,53 m/h, con punte minime e massime rispettivamente di 0,37 e 1,42 m/h.

Applicazione a macchina di membrane per impermeabilizzazione di gallerie

Descrive vari sistemi di impermeabilizzazione:

1) Impalcatura mobile per applicazione meccanica di lamine di rame e fogli di juta bitumati nelle due facce;

2) macchina rotante bitumatrice, modificata per l'applicazione di fogli di PVC;

3) applicazione a macchina di fogli di juta bitumati in galleria circolare;

4) macchina per l'applicazione di fogli di PVC.

Costruzione e manutenzione delle gallerie nella rete delle ferrovie federali austriache (R. ZIERMANN) - Parte 2^a (seguito del numero precedente)

Accenna allo scavo con metodi tradizionali e si sofferma sul nuovo me-

todo austriaco, sul rifacimento dei rivestimenti con metodi moderni e sulla cooperazione internazionale nel campo della manutenzione delle gallerie.

(Vincenzo Troiano)

Il comportamento delle sabbie durante la vibrazione.

YOUNG T. L.: *Densification and shear of sand during vibration*. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Proc. ASCE, Vol. 96, SM 3, pagg. 863-880, maggio 1970.

Il comportamento meccanico dei materiali incoerenti sottoposti a sollecitazioni dinamiche è stato oggetto per il passato di approfondite indagini specifiche da parte di gruppi di studiosi, specie in Germania, negli Stati Uniti ed in Russia. Sull'argomento permangono ancora, tuttavia, nelle nostre conoscenze alcune gravi lacune, che condizionano la risoluzione di molte questioni che rientrano nella sempre più vasta gamma dei problemi geotecnici che l'ingegnere è chiamato ad affrontare in campo dinamico; tra questi, il progetto delle fondazioni di macchine, il costipamento dei terreni a mezzo della vibrazione ed il proporzionamento delle opere in zone sismiche.

Tra le questioni più difficili possono citarsi, ad esempio, quelle relative all'influenza che le sollecitazioni dinamiche esercitano sulle caratteristiche dei vari terreni, al ruolo dell'acqua di porosità, alle interazioni terreno-struttura.

Per risolvere questi problemi è necessario per il momento ricorrere a modelli fisici o matematici estremamente semplificati, che valgono almeno a porre in luce il tipo dei fenomeni che possono verificarsi quando un terreno è sottoposto a sollecitazioni dinamiche ed a chiarirne la meccanica.

Seguendo questa linea, T. L. YOUNG, in una interessante memoria comparsa sul fascicolo SM3 dei Proc. A.S.C.E. del corrente anno, presenta i risultati di un'ampia ricerca teorico-sperimentale sul comportamento meccanico delle sabbie asciutte a grana uniforme ed in particolare sulle modifiche di compattezza e di resistenza che intervengono allorché questi materiali sono sottoposti a vibrazione.

Il modello, cui l'A. fa riferimento, si ispira a quello già adottato da BARKAN [1962]. Un campione di sabbia asciutta o di sferette di acciaio è sottoposto ad uno sforzo normale verti-

cale N , trasmesso da una molla, in un apparecchio di taglio diretto montato su un tavolo vibrante nel piano orizzontale. La frequenza può variare fino ad un massimo di 60 cicli/sec e l'ampiezza fino ad un massimo di circa 2 mm. Lo sforzo di taglio S è applicato al campione in direzione normale alla direzione degli spostamenti prodotti dalla vibrazione.

Nelle esperienze, assegnate le caratteristiche del moto di vibrazione ed applicata la forza normale N , si fa crescere la S misurando gli spostamenti verticali ed orizzontali del campione fino alla rottura.

Si osservi che in precedenti ricerche il comportamento dinamico del terreno nell'apparecchio di taglio diretto era stato studiato sotto l'effetto di una vibrazione in direzione verticale oppure sottoponendo il materiale a ripetute applicazioni della forza normale. Con le modalità seguite dall'A. è ridotta al minimo l'influenza di forze di inerzia inerenti alle parti oscillanti dell'apparecchiatura ed ai carichi applicati.

L'A. ha eseguito tre serie di prove.

Nella prima il campione è stato pre-

prove, eseguite su pallini di acciaio sottoposti ad uno sforzo normale di 1,4 kg/cm², sono rappresentati in fig. 1. Con i diagrammi a) e b) la tangente dell'angolo d'attrito φ rilevato nelle prove e l'indice di porosità e nella situazione EVR sono rappresentati in funzione dell'indice di accelerazione η , definito come rapporto tra la massima accelerazione del moto di vibrazione e l'accelerazione di gravità g . Nei diagrammi c) e d) il rapporto S/N e l'indice di porosità e sono rappresentati per le singole prove in funzione degli spostamenti orizzontali del provino.

Questi grafici mostrano che, al crescere dell'accelerazione del moto di vibrazione, il materiale si addensa, ma l'angolo d'attrito, che si potrebbe denominare *dinamico*, diminuisce sensibilmente rispetto al valore *statico* ($\eta = 0$).

Si osserva inoltre che le variazioni di e che si verificano a seguito dell'applicazione della forza tagliante S sono trascurabili rispetto a quella che si era verificata fino alla situazione EVR. Ne consegue che l'indice di po-

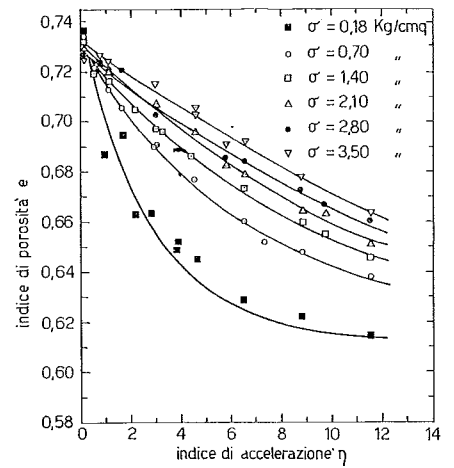


Fig. 2. - Influenza dello sforzo normale σ sulle curve EVR per sferette di acciaio.

maggiore è il valore della pressione normale applicata σ . L'A. mostra poi che l'effetto dell'accelerazione della vibrazione su φ è tanto più modesto quanto più elevata è la σ . Altra interessante conclusione che si trae da queste prove è che la *frequenza* della vibrazione non esercita, invece, alcuna apprezzabile influenza sui valori dello EVR e di φ .

Una terza serie di prove di resistenza è stata condotta sottoponendo il campione allo sforzo di taglio dopo avere ridotto l'accelerazione ad un valore inferiore a quello per il quale si era raggiunta la condizione EVR. I risultati di queste prove sono riportati nella fig. 3.

Si può distinguere in questo caso un valore massimo e un valore ultimo della resistenza: i punti E, F, G, D delle fig. 3a) e 3b) sono rappresentativi dei valori *massimi*, mentre E', F', G', D' sono quelli relativi ai valori *ultimi*.

I dati della figura 3 mostrano chiaramente che il massimo addensamento che si produce nel materiale è quello che corrisponde alla massima accelerazione η_0 impressa; per $\eta < \eta_0$ l'indice di porosità non varia rispetto al valore già raggiunto per effetto di η_0 .

I valori dell'indice di porosità, nella condizione EVR e della tangente dell'angolo d'attrito φ rilevati nel corso delle esperienze possono interpretarsi con le seguenti espressioni analitiche in funzione dell'indice di accelerazione η :

$$(1) e = e_{min} + (e_s - e_{min}) e^{-\alpha \eta}$$

$$(2) \operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} \varphi_{min} + (\operatorname{tg} \varphi_s - \operatorname{tg} \varphi_{min}) e^{-\beta \eta}$$

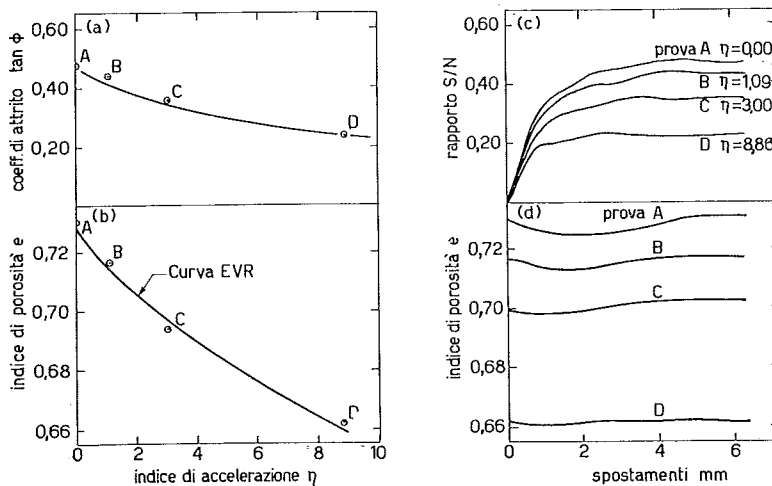


Fig. 1. - Risultati di prove di taglio su sferette d'acciaio portate alla condizione EVR e sottoposte ad una pressione $\sigma = 1,4$ kg/cm².

parato con un indice di porosità prossimo a e_{max} ; si è quindi applicata la forza normale N ed il campione è stato sottoposto a vibrazioni di assegnate frequenza ed ampiezza fino a raggiungere la costanza del volume. Questa situazione di equilibrio è indicata dall'A. con la sigla EVR (*equilibrium void ratio*). Successivamente è stata applicata la S incrementandone il valore fino alla rottura del campione, che è stato tenuto sotto l'azione della vibrazione per tutta la durata dell'esperienza.

Risultati tipici di un gruppo di tali

rosità critico CVR (*critical void ratio*), definito come il valore di e corrispondente alla situazione finale in una prova di taglio drenata, coincide all'incirca con il valore EVR.

In una seconda serie di prove, l'A. ha indagato sull'influenza esercitata dalla forza normale N sul valore EVR dell'indice di porosità e sull'angolo φ . Dai risultati di tali prove, rappresentati con i grafici della fig. 2, si deduce che, per una determinata accelerazione del moto, l'indice di porosità di equilibrio EVR risulta tanto più elevato quanto

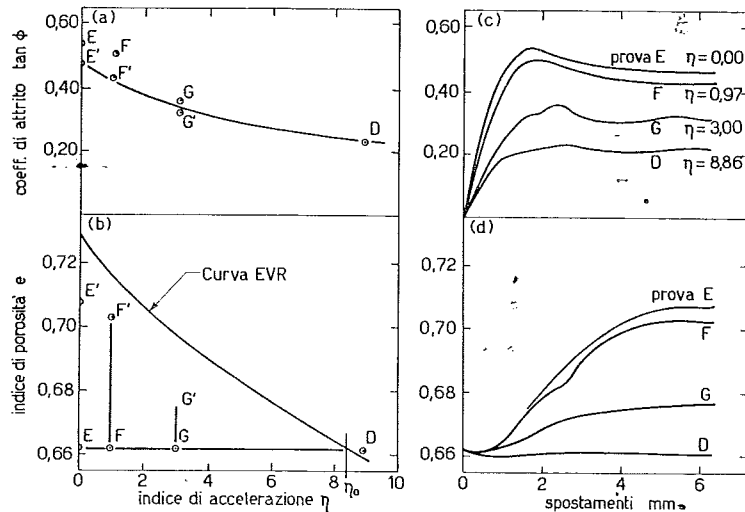


Fig. 3. - Risultati di prove di taglio su sferette d'acciaio preaddensate e sottoposte ad una pressione $\sigma = 1,4 \text{ kg/cm}^2$.

dove e_s e $\text{tg } \varphi_s$ sono i valori di e e di $\text{tg } \varphi$ per $\eta = 0$; i parametri α e β dipendono dalla pressione normale come dai grafici delle figg. 4 e 5. Da queste curve e dalle formule (1) e (2), che sono simili a quelle già fornite da BARKAN, si deduce — ed è questo un importante passo innanzi rispetto alle conclusioni di quest'ultimo autore — che al crescere della pressione normale σ una vibrazione di determinata accelerazione risulta sempre meno effi-

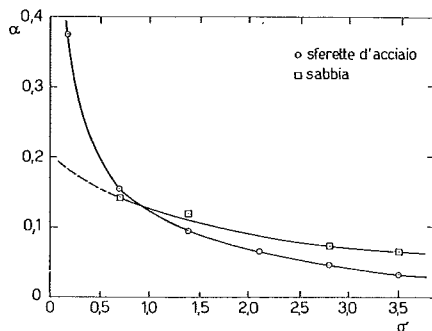


Fig. 4. - Influenza della pressione σ sul coefficiente α di addensamento dinamico.

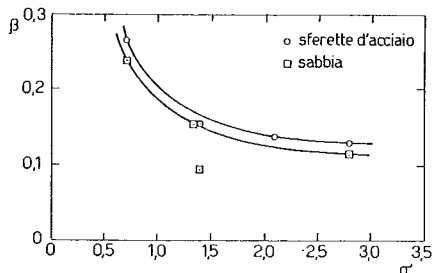


Fig. 5. - Influenza della pressione σ sul coefficiente β di riduzione dell'angolo d'attrito.

cace ai fini di realizzare l'addensamento ed inoltre la entità della riduzione di resistenza diminuisce.

La discussione dei risultati sperimentali offre all'A. lo spunto per l'esposizione di una suggestiva teoria per l'interpretazione dei complicati processi che hanno luogo per fenomeni dinamici in seno ad un materiale incoerente.

L'A. ricorda che per ogni materiale granulare esistono due valori (e_{\min} , e_{\max}) dell'indice di porosità, cui corrispondono il massimo ed il minimo addensamento dei grani. Il materiale è stabile in tutte le situazioni caratterizzate da indici di porosità compresi nell'intervallo $e_{\min} \leq e \leq e_{\max}$; ciò in quanto, per effetto dei legami e dell'attrito che esistono fra i singoli grani, si vengono a creare quelle che l'A. denomina *barriere di energia*, che impediscono il movimento delle particelle verso posizioni cui corrisponde una struttura più compatta.

Il concetto delle barriere di energia può essere efficacemente illustrato ricorrendo al modello meccanico di figura 6a). In questo modello il semicilindro T, di cui è rappresentata la sezione retta, può slittare ovvero rotolare sui semicilindri U dalla posizione A a quella B ed infine a quella C. Nel corso di questi movimenti si verificano nel sistema le variazioni di energia potenziale e di attrito indicate nei grafici di fig. 6b). La curva EP rappresenta l'energia potenziale del sistema lungo l'ascissa x del percorso dal punto A fino al punto C; la curva EA indica l'energia dissipata per attrito lungo il medesimo percorso. Ne segue che la curva EP + EA rap-

presenta il lavoro complessivamente compiuto per far muovere il semicilindro T fino alla generica ascissa x del percorso.

È facile rendersi conto che nel tratto compreso fra le posizioni A e B entrambe le energie EP ed EA crescono al crescere della x . Oltre la posizione B la EP decresce; tuttavia, perchè si verifichi lo spostamento, si rende ancora necessario del lavoro esterno fino al punto in cui la diminuzione di EP eguaglia l'aumento di EA. In questo punto la EP + EA presenta un massimo, al di là del quale lo slittamento di T non richiede ulteriore lavoro.

La *barriera di energia* BE può definirsi allora come differenza fra l'ordinata massima della curva EP + EA ed il valore originario dell'energia potenziale del sistema. Essa rappresenta in sostanza il lavoro esterno occorrente perchè il semicilindro T si sposti da una qualsiasi posizione stabile come la A in un'altra.

Un ragionamento analogo può farsi se si immagina che il movimento av-

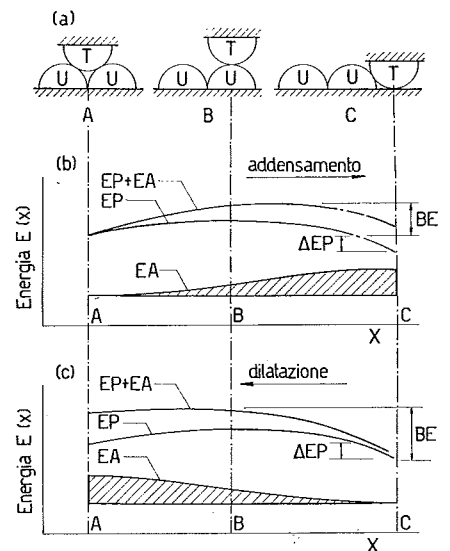


Fig. 6. - Modello meccanico per l'introduzione del concetto delle *barriere di energia*.

venga nel senso opposto, cioè da C verso A; in questo caso, nella barriera di energia è inclusa la differenza ΔEP fra i valori finale ed iniziale dell'energia potenziale del sistema.

Trasferendoci dal modello meccanico al sistema delle particelle in un materiale incoerente si può immaginare come ogni variazione di configurazione dei grani richieda il superamento di certe barriere di energia. Poiché l'addensamento di un materiale granulare

è di regola accompagnato da un decremento e la dilatazione da un incremento dell'energia potenziale delle singole particelle, il processo di cui alla fig. 6a) simula un addensamento e quello della 6b) una dilatazione.

Si consideri, ad esempio, ciò che avviene durante l'applicazione degli sforzi di taglio. Dalle curve rappresentate in fig. 7 [da ROSCOE, SCHOFIELD, WROTH, 1958] risulta che, in generale durante una prova di taglio, al crescere degli spostamenti orizzontali, si verifica dapprima una fase di addensamento del materiale, cui segue una fase di dilatazione ed infine, alle più ele-

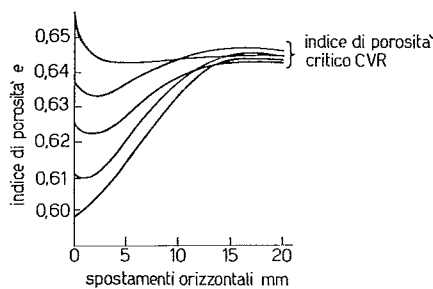


Fig. 7. - Tipici risultati di prove di taglio puro su sferette di acciaio del diametro di mm 1 sottoposte ad uno sforzo normale $\sigma = 1,4$ kg/cmq.

vate deformazioni, si tende ad una situazione di volume all'incirca costante caratterizzata dal valore critico CVR dell'indice di porosità.

Questo comportamento può spiegarsi se si ammette che la deformazione prodotta dalla sollecitazione di taglio dia l'avvio ad entrambi i processi di addensamento e di dilatazione: il primo prevale nella fase iniziale, cioè alle piccole deformazioni, il secondo nella fase intermedia, mentre, in prossimità della rottura, presumibilmente gli effetti dei due processi si bilanciano.

Poiché la struttura di un sistema granulare deriva da un processo statistico di accumulazione dei grani, sarà egualmente probabile la presenza di gruppi di particelle con struttura *più densa* e con struttura *meno densa*. Per variare la configurazione dei gruppi di particelle meno dense è sufficiente imprimere deformazioni molto più piccole che per i gruppi più densi; è facile comprendere, quindi, che alle pic-

cole deformazioni prevale il processo di addensamento del materiale. Al crescere delle deformazioni, dopo che si è verificato il collasso della maggior parte degli agglomerati meno densi, ha inizio il processo di espansione dei gruppi più densi e si ha perciò prevalenza di dilatazione. Il processo di dilatazione dà luogo, tuttavia, alla formazione di nuovi agglomerati poco densi, dei quali si verifica poi nuovamente il collasso. Nella fase finale, gli effetti di espansione e di collasso si bilanciano ed il volume complessivo del materiale resta approssimativamente costante.

Con l'aiuto dei concetti innanzi esposti l'A. fornisce una convincente interpretazione della meccanica dell'addensamento per effetto della vibrazione e dell'influenza di quest'ultima sulla resistenza al taglio.

Con la vibrazione si trasmettono al materiale tensioni pulsanti cui conseguono tensioni intergranulari di contatto, la cui intensità è funzione periodica del tempo.

Le variazioni delle componenti normali delle tensioni intergranulari determinano variazioni delle aree di contatto, eventualmente fino alla separazione dei grani. Ciò può determinare la rottura di eventuali legami esistenti fra i grani, una ridistribuzione delle tensioni, nonché dei veri e propri bruschi spostamenti di particelle sulle superfici scabre delle particelle adiacenti. Il risultato di tutto questo complesso di fenomeni è una riduzione periodica di quell'aliquota della barriera di energia che è dovuta all'attrito.

Le componenti tangenziali degli sforzi intergranulari determinano piccoli slittamenti relativi fra i grani, che attivano i processi di addensamento e di espansione, tra i quali, per quanto si è scritto innanzi, prevale il primo, proprio per la piccolezza delle deformazioni.

L'entità della riduzione delle barriere di energia è tanto maggiore quanto più elevata è l'accelerazione η della vibrazione impressa al sistema. Si spiega in tal modo l'andamento decrescente della curva EVR in funzione di η , quale risulta dalla fig. 1b).

Inoltre, se per un materiale che ha raggiunto una situazione come la D di fig. 3b corrispondente ad una accele-

razione η_0 , questa viene portata ad un valore $\eta < \eta_0$, le barriere di energia ed i movimenti reciproci dei grani si riducono; pertanto i granelli si bloccano nelle posizioni originarie e la porosità del sistema non varia come risulta dall'andamento dei punti E, F, G di fig. 3b. Una riaccelerazione del sistema non provoca variazioni dell'indice di porosità finché la η non supera il valore η_0 ; ciò perché tutti i grani, che si trovano in condizioni favorevoli per uno slittamento verso posizioni più compatte, si erano già mossi in precedenza. A quel valore η_0 dell'accelerazione, che deve essere superato per ottenere un addensamento del materiale, si dà il nome di *accelerazione critica* (MASLOV) ovvero *soglia del costipamento per vibrazione* (BARKAN).

Con il concetto delle barriere di energia risulta anche immediata la spiegazione dell'effetto dello sforzo normale σ sull'andamento della curva EVR (fig. 2): la pressione σ applicata al campione incrementa gli sforzi intergranulari e innalza le barriere dell'energia; pertanto, l'effetto di addensamento che può ottenersi con una determinata η diminuisce al crescere di σ ovvero, per ottenere il medesimo effetto sotto l'azione di una σ più elevata occorre vibrare il materiale con un'accelerazione più alta.

Anche la diminuzione dell'angolo φ che si verifica al crescere di η può spiegarsi con la progressiva riduzione delle barriere di energia, cui si accompagna evidentemente una riduzione della capacità del materiale di resistere alle sollecitazioni di taglio.

Al crescere di σ si innalzano le barriere e l'effetto di riduzione, che si verifica nell'angolo di attrito sottoponendo il materiale ad una vibrazione di determinata accelerazione, tende ad attenuarsi.

(Ruggiero Jappelli)

BIBLIOGRAFIA

- BARKAN D. D. (1962) - *Dynamics of bases and foundations*. Mc Graw Hill Inc., New York.
- ROSCOE K. H., SCHOFIELD A. N., WROTH C. P. (1958) - *On the yielding of soils*. Géotechnique, vol. 8, 1.