L'IMPIEGO DELLA POZZOLANA NELLA COSTRUZIONE DI STRADE IN TERRA STABILIZZATA

R. DI MARTINO (*)

SOMMARIO: Dopo breve richiamo ai fini ed ai metodi della stabilizzazione delle terre, l'Autore espone i risultati delle prove di laboratorio su due campioni di pozzolana.

Le prove sono state divise in tre gruppi per valutare le possibilità di quel materiale come sottofondo (pozzolana semplice), come struttura portante (pozzolana stabilizzata) e come strato di usura (pozzolana stabilizzata).

Questa prima indagine ha dato soddisfacenti risultati in tutti i tre gruppi e lascia ancora prevedere migliori sviluppi, tali da consentire un largo impiego della pozzolana stabilizzata nelle costruzioni stradali in zone ricche di questo materiale.

1 - Premessa

Questo articolo trae spunto da alcuni studi ed esperimenti eseguiti presso il laboratorio dell'Istituto di Strade e Trasporti dell'Università di Napoli per conto dell'Amministrazione Provinciale di Napoli, in relazione al progetto di una nuova strada da costruirsi nella zona di Arzano.

La costruzione non si è ancora attuata, ma, con riserva di riferire a suo tempo sul comportamento della struttura in opera, si ritiene che possa essere interessante conoscere intanto le indagini e le risultanze di laboratorio che hanno necessariamente preceduto la progettazione vera e propria.

2 - Generalità sul problema

La stabilizzazione delle terre applicata ai lavori stradali si propone il raggiungimento di tutti o di una parte dei seguenti obbiettivi:

1) incremento della portanza dei terreni di riporto o in sito costituenti il sottofondo stradale, al fine di poter realizzare le notevoli economie derivanti sia da una riduzione di spessore della struttura portante e sia dalla minore manutenzione del piano viabile e del corpo stradale, specie se in rilevato.

2) Utilizzazione parziale o totale dei terreni in sito o poco lontani dalla strada per la costruzione della struttura portante, con ovvia economia di spesa sia per il basso costo intrinseco del materiale e sia per minimo costo del trasporto.

3) Utilizzazione parziale o totale di terreni c. s. per la costruzione dello strato di usura, con le relative economie.

L'entità e la natura del traffico sono in genere gli elementi determinanti nella possibilità di impiego delle terre come soprastruttura.

Come è noto l'aumento di portanza dei sottofondi si ottiene mediante un opportuno addensamento del terreno, mentre procedimenti un po' più elaborati sono richiesti per ottenere dalle terre quella stabilità o resistenza alla azione dei carichi e degli agenti naturali che le rendano idonee a costituire in tutto o in parte la struttura portante o addirittura anche lo strato di usura.

(*) Dr. Ing. Renato DI MARTINO, Assistente presso la Cattedra di Costruzioni Stradali e Ferroviarie dell'Università di Napoli.

In sintesi questi procedimenti di stabilizzazione si riconducono ad uno dei tre tipi seguenti:

a) formazione di una miscela di terre tale da presentare elementi a grana grossa, aventi elevato attrito interno, ed elementi a grana fine aventi elevata coesione e potere legante (stabilizzazione granulometrica).

b) addizione al terreno di un legante non terroso (stabilizzazione con bitume o con cemento o altro legante).

c) addizione di sostanze la cui reazione col terreno determini prodotti che stabilizzano la massa (stabilizzazione chimica).

Ciò posto la stabilizzazione di terreni pozzolanici si è presentata come problema nuovo in quanto che la pozzolana è un materiale che ha caratteristiche tanto particolari da non consigliare l'applicazione pedissequa di norme e tecniche sviluppatesi, ed ormai quasi unificate, dall'impiego di terreni affatto differenti per costituzione e formazione.

Ricordiamo brevemente che la pozzolana è materiale vulcanico sedimentario, di formazione eolica, costituito da elementi magmatici vetrosi aventi in buona parte tessitura pumicea e mista in piccole quantità di cristalli intercraterici e talvolta a minuti campioni di rocce asportati dalle pareti del condotto vulcanico [1].

Essa è molto diffusa nell'Italia centro-meridionale e deve la sua notorietà fin dal tempo dei Romani al fatto che la silice e l'allumina in essa contenute, fissando, in presenza di acqua, la calce, si solidificano e diventano capaci di resistenza meccanica, con notevoli caratteristiche di idraulicità.

Dal punto di vista granulometrico la pozzolana si può classificare come sabbia limosa debolmente ghiaiosa i cui elementi finissimi scendono raramente al di sotto dei 5 micron, limite superiore del campo delle argille secondo la classifica P. R. A.

3 - Le prove di laboratorio

Numerose prove sono state eseguite su due diversi tipi di pozzolana, una che chiameremo A prelevata lungo l'asse della costruenda strada a circa cm. 40 sotto il piano di campagna, nelle adiacenze dell'abitato di Arzano, ed un'altra da una cava di pozzolana prossima all'abitato di Capodichino e che chiameremo C; questa seconda serie di prove ha avuto il fine di stabilire se alcune caratteristiche riscontrate nella prima serie possono considerarsi di carattere generale oppure particolare.

Un primo gruppo di prove è stato eseguito sulla pozzolana semplice per conoscerne le caratteristiche generali, in relazione al suo impiego per sottofondo; un secondo gruppo di prove è stato necessario per gli esperimenti di stabilizzazione per la formazione della struttura portante, mentre un terzo gruppo di prove ha fornito elementi di giudizio sull'impiego per strato di usura ovvero sulla applicabilità di uno strato di conglomerato bituminoso al di sopra della pozzolana stabilizzata.

I° GRUPPO DI PROVE (PER IL SOTTOFONDO)

Pozzolana semplice	*Terreno A*	*Terreno C*
— Analisi granulometrica per via umida:		
Tratt. al n. 10 %	4	13
Tratt. al n. 40 e passante al n. 10 »	15	18,4
Tratt. al n. 200 e passante al n. 40 »	25	25,9
passante al n. 200 »	56	42,7
— Peso specifico assoluto Kg/l	2,48	2,42
— Densità secca allo stato sciolto (alla umidità dell'8,25% Kg/m^3	—	952
— Presenza di sostanze organiche %	4	1,1
— P. H.	7,5	8
— Classificazione P. R. A. per terreni di sottofondo	A_4	A_4
— Indice di gruppo	4	2
— Limiti di consistenza o di ATTERBERG		
limite liquido %	30	38,5
limite plastico »	24	38,5
indice di plasticità »	6	0
limite di ritiro »	29,21	45,46
— Densità		
Proctor Standard Kg/m^3	1483	1215
» Modificata »	1582	1344
— Umidità ottima		
alla densità Proctor stand. %	22,88	29,4
» » » modif. »	20,30	17,8
— Indice dei vuoti		
alla densità standar %	0,67	1,02
» » modific. »	0,57	0,81
— C.B.R. a mm 2,45 di penetrazione		
asciutti { per densità stand. %	12	51
asciutti { per densità modif. »	65	—
bagnati { per densità stand. »	8	25
bagnati { per densità modif. »	—	—
— Rigonfiamento (dopo 4 giorni in acqua e col peso di 0,29 Kg/m^2)		
per densità standard %	0,40	0,02
» » modificata »	0,90	—

II° GRUPPO DI PROVE (PER LA STRUTTURA PORTANTE)

a) *Miscela di pozzolana e bitume.*

L'elevata percentuale di pozzolana passante al setaccio n. 200, che mediamente si aggira sul 50%, rende a priori sconsigliabile qualsiasi tentativo di stabilizzazione con legante bituminoso, a causa dell'elevato quantitativo che di questo occorrerebbe.

In effetti alcuni provini miscelati con percentuali di bitume variabile tra il 5 e il 10% (valore oltre il quale l'applicazione comincia ad essere troppo costosa), posti in acqua si sono sfaldati dopo pochi minuti.

È da notare che, escludendosi l'applicazione a caldo per ovvie ragioni di praticità, si è tentata la miscelazione con emulsione bituminosa o con bitume liquido.

La emulsione, benchè a lenta rottura, ha mostrato, probabilmente a causa della costituzione chimica della pozzolana, una grande rapidità di rottura la quale non ne ha reso possibile l'impiego; con i bitumi liquidi si è riusciti invece a formare una discreta miscela al 22% di umidità e il 4% di Essofix 1 (il più fluido); comunque questa miscela è risultata, come prevedibile, troppo suscettibile all'acqua e quindi scartata.

b) *Miscela di pozzolana e calce.*

Come è noto [1], il rapporto ponderale calce idrata — pozzolana che permette a tutta la pozzolana di reagire con la calce è di 1 : 3; nel caso della stabilizzazione di terreni pozzolanici non è il caso di ricorrere a tali dosaggi e alle corrispondenti resistenze e perciò gli esperimenti sono stati effettuati su miscele al 5% in peso di calce idrata, proporzione che è risultata idonea a fornire caratteristiche meccaniche soddisfacenti a basso costo; numerose prove di stabilizzazione di terre non pozzolaniche con l'impiego di calce idrata sono state eseguite negli S. U. [2] con buoni risultati, dovuti essenzialmente alle favorevoli variazioni di carattere elettrochimico che si manifestano nei confronti dei sottilissimi veli di acqua adesiva che circondano le particelle solide. Si è rilevato, in particolare, un aumento della resistenza e una diminuzione della plasticità.

Diamo qui di seguito i risultati delle prove sulla miscela di calce e pozzolana eseguiti al laboratorio dell'Istituto di Strade e Trasporti.

Miscela di calce idrata e terreno		*Terreno A*	*Terreno C*
— Limiti di ATTERBERG:			
limite liquido	%	34,3	38
limite plastico	»	29,8	38
indice di plasticità	»	4,5	0
limite di ritiro	»	40,9	46,8
— Densità max:			
PROCTOR Standard	Kg/m³	1332	1267
» modificato	»	1625	—
— Umidità ottima:			
per densità standard	%	30	30
per densità modificata	»	21	—
— Indice dei vuoti:			
per densità standard	%	0,861	0,973
per densità modificata	»	0,526	—

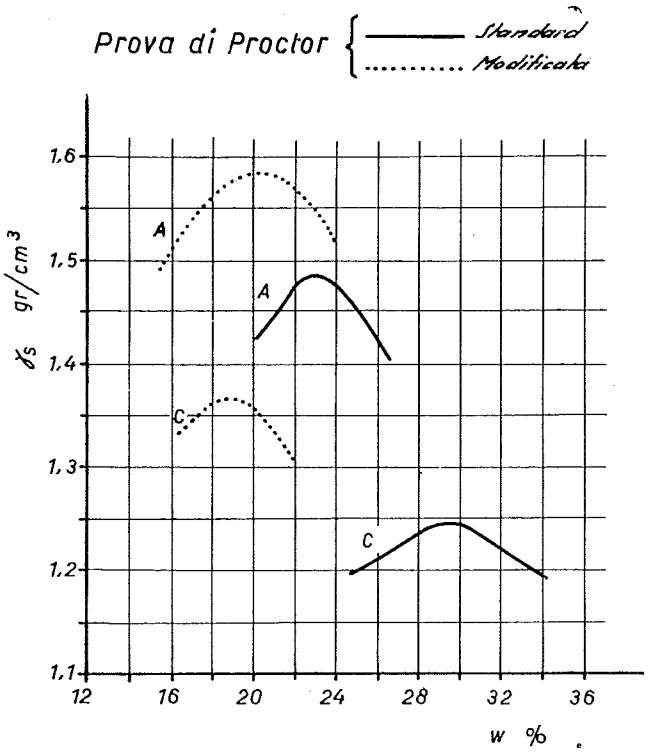

Fig. 1 - Le curve del PROCTOR Standard e del PROCTOR Modificato per i due campioni di pozzolana A (Arzano) e C (Capodichino)

Prove di compressione:

sono state eseguite su provini cilindrici con l'apparecchio di cui alla fig. 2, al solo scopo di fornire elementi comparativi di giudizio sul comportamento dei provini in funzione del tempo e della dosatura in calce idrata.

Infatti i provini della miscela A sono stati formati mediante costipamento PROCTOR I. S. S. nel cilindro I. S. S. avente diametro cm 6 e altezza cm 5,5 e quindi con rapporto D : H non idoneo a valutazioni di carattere assoluto sulla resistenza a compressione mentre i provini dela miscela C sono stati formati con diametro cm 3,81 e altezza cm 7,62 con rapporto D/H = 1/2.

Qui di seguito sono riportati i valori della resistenza a compressione ottenuti:

Miscela		*Terreno A*	*Terreno C*
a 5 gg. dalla confez.	Kg/cm²	11,5	—
a 7 » » »	»	12,8	14,1
a 14 » » »	»	16,0	16,3
per confronto si riportano anche i valori ottenuti con la pozzolana semplice in analoghe condizioni di dimensioni e preparazione:			
subito dopo la confez.	Kg/cm²	7,0	1,72
a 4 gg. dalla confez.	»	8,5	3,00

Risulta evidente dalle varie prove come la pur piccola aggiunta di calce dia valori maggiori di quelli avuti per la sola pozzolana a parità di stagionamento e crescenti col tempo, come era da attendersi.

Valori all'incirca doppi della resistenza a compressione possono ottenersi se si compatta la miscela alla densità PROCTOR modificata, come si rileva da due valori medi che si sono avuti con il terreno A, il quale a 2 e a 14 giorni dalla confezione della miscela ha dato i valori rispettivi di 22,5 e 37,5 Kg/cm².

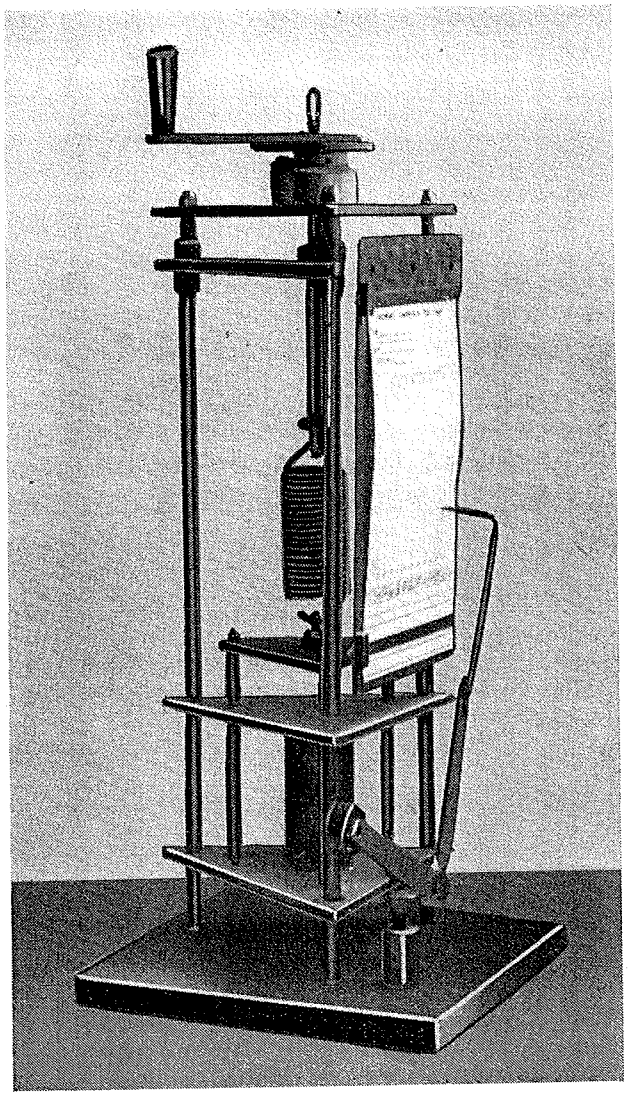

Fig. 2 - L'apparecchio per la prova di compressione su campioni di terra cilindrici

Prove di sommersione in acqua:

Ponendo i provini, confezionati come sopra, in acqua in modo da essere completamente sommersi, si è constatato che mentre quelli di semplice pozzolana rigonfiano perdendo ogni coesione fino a sfaldarsi completamente entro 30', i provini contenenti il 5% di calce idrata, stagionati per 7 giorni, assorbono acqua fino a saturare tutti i pori ma non subiscono nessuna apparente alterazione nello stato di aggregazione; si è solo rilevata una lieve diminuzione della resistenza a compressione dovuta, molto probabilmente, alla diminuta resistenza delle particelle di pozzolana che non hanno preso parte alla reazione con la calce.

III° GRUPPO DI PROVE (PER LO STRATO DI USURA)

Prove di usura

La eventualità di un impiego della miscela di pozzolana e calce idrata come strato di usura, sia pure a carattere sperimentale, ha consigliato la esecuzione di alcune prove di usura al fine di valutare la resistenza di questo materiale in confronto ad altri già in uso ed in particolare a quelli di asfalto compresso.

Anche qui le prove hanno dato risultati soddisfacenti, come può rilevarsi dai valori ottenuti e che più in seguito si riportano.

Infatti le vigenti *norme governative* (R. D. 16-11-1939) [3] *per l'accettazione e per il collaudo dei materiali da costruzione* ammettono per le mattonelle di asfalto un consumo massimo di 15 mm (prova al Tribometro, dopo 500 giri pari a 1000 metri di percorso), mentre il materiale esaminato non ha mai raggiunto, in proporzione, tali valori.

Una prima serie di prove è stata eseguita su provini di calce e pozzolana (campione A) costipati al grado ottimo di umidità e alla densità PROCTOR modificato, stagionati per circa 40 giorni e impregnati con 1 Kg a mq. di bitume liquido Essofix 1, penetrato fino alla profondità di mm 3. Dato tale piccolo spessore la prova è stata eseguita con solo 50 giri del disco del tribometro: il valore medio del consumo è stato di circa mm 1 e quindi, immaginando un consumo uniforme, di mm 10 a 500 giri.

Analoga prova è stata eseguita anche su provini non impregnati di bitume per i quali il consumo rilevato dopo 200 giri è stato mediamente di mm 5,25 e quindi per estrapolazione di mm 13,15 a 500 giri; la maggiore resistenza dei provini impregnati si spiega con la considerazione che il distacco delle singole particelle per effetto delle azioni tangenziali è ostacolato dalla presenza del legante.

Se i risultati tra provini non impregnati e provini impreganti non differiscono molto tra loro, ciò è dovuto a nostro parere, al fatto che durante la prova viene versato sul piatto metallico del tribometro dell'olio lubrificante (unitamente a del carborundum) il quale ha certamente una sia pure piccola azione solvente nei confronti del bitume; e in effetti ripetendo le prove di usura senza l'impiego del lubrificante si sono avuti dopo 200 giri i seguenti risultati:

— provini impregnati: consumo medio mm 0,30.

— provini non impregnati: consumo medio mm 0,55.

Come si vede, il consumo in assenza del legante è quasi il doppio; e tale risultato si ritiene più vicino alla realtà dato che normalmente le azioni di usura dei piani viabili avvengono in assenza di oli lubrificanti.

Adesione a legante bituminoso

Prevedendosi la possibilità di applicazione di un manto di usura di tipo flessibile costituito da una miscela bituminosa, è stato necessario assicurarsi del grado di adesione del bitume alla miscela di pozzolana e calce idrata costituente la struttura portante.

A tal fine sono state eseguite numerose prove le quali hanno chiaramente mostrato che l'adesione ricercata è superiore alla coesione tra le particelle costituenti detta struttura; in effetti, ponendo dei provini di granito rivestiti di bitume sulla superficie del campione di miscela, preventivamente ricoperto di un velo di bitume 180/200, il distacco per effetto di uno sforzo di trazione (esercitato mediante l'apparecchio di ARIANO lievemente modificato nel sistema di applicazione del campione come indicato nella fig. 3) si è manifestato sempre tra le particelle di detta miscela di calce e pozzolana.

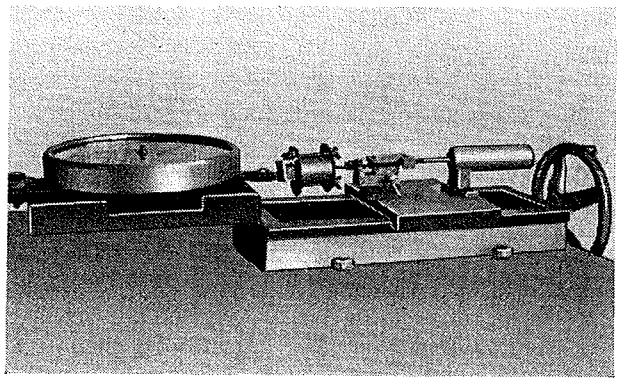

Fig. 3 - L'apparecchio di ARIANO impiegato con qualche modifica per la misura dell'adesione del bitume alla miscela stabilizzata

Analogo risultato si è avuto adoperando emulsione bituminosa.

L'impiego del bitume liquido Essofix 1 per la impregnazione nel piano superficiale ha dato invece risultati diversi nel senso che, pur non modificando l'adesione tra bitume e miscela, è diminuita la coesione per effetto degli oli volatili, tra le particelle di bitume, cosicchè il distacco si è verificato tra il provino di granito bitumato e la superficie della miscela impregnata. Questo risultato non inficia il giudizio sull'adesione, ma è da tenere presente nella scelta del materiale di impregnazione; è verosimile, peraltro, che lasciando maggior tempo alla evaporazione dei solventi contenuti nello Essofix 1, il risultato possa migliorare.

È da tenere presente inoltre che il bitume solido posto a caldo o come emulsione non riesce a penetrare nella miscela e quindi, rimanendo in superficie come velo continuo, determina la necessità dello strato protettivo di usura, mentre invece il bitume liquido riesce a penetrare in profondità impregnando e legando uno strato di spessore di alcuni millimetri; da ciò si desume che l'impiego del bitume solido è senz'altro raccomandabile quando si intenda porre subito lo strato di usura al di sopra della fondazione costituita dalla miscela calce-pozzolana, laddove è consigliabile l'impregnazione con Essofix 1 quando detto manto debba essere posto a distnza di tempo o non debba essere posto affatto (questione dipendente dal traffico previsto).

Diamo qui di seguito alcuni valori medi della resistenza a trazione dei provini di granito aderenti a mezzo del bitume sui campioni di miscela calce-pozzolana, notando che, per quanto detto, i valori avuti sono in effetti valori della resistenza a trazione della sola miscela:

Stagionatura	7	giorni	1 Kg/cm²
»	14	»	2,3 »

È certamente da prevedersi un aumento di detti valori con il passare del tempo.

Allo scopo inoltre di valutare l'influenza di eventuali filtrazioni di acqua nella struttura portante, dette prove sono state ripetute con provini preventivamente immersi per 24 ore in acqua, con i risultati seguenti:

Stagionatura	7	giorni	0,30 Kg/cm²
»	28	»	1,20 »

È notevole il fatto che l'adesione tra bitume e miscela non ha risentito per niente della saturazione del provino e che il valore della resistenza a trazione della miscela si sia mantenuto soddisfacentemente alto con evidente tendenza a miglioramento col procedere della stagionatura; il basso valore ottenuto a 7 giorni consiglia di evitare nei primi giorni ogni infiltrazione.

Se, come si consiglia, la struttura portante viene rivestita di un velo di bitume, circa 200-300 gr di bitume per m², al fine di assicurare la impermeabilità e la massima continuità di adesione tra il tappeto bituminoso e la fondazione, qualunque infiltrazione iniziale è certamente da escludersi, mentre quelle conseguenti a prolungate azioni usuranti del traffico o difetti localizzati avverranno con ogni probabilità quando la miscela già ben stagionata sarà diventata praticamente insensibile all'acqua.

4 - Valutazione dei risultati di laboratorio

1) *Idoneità a costituire sottofondi.*

Il primo gruppo di prove offre un soddisfacente quadro delle caratteristiche chimico-fisiche del terreno pozzolanico, esaminato sotto l'aspetto di sottofondo stradale.

In effetti rileviamo innanzi tutto che esso, per granulometria e limiti di consistenza, ricade nel gruppo A_4 della classificazione dei terreni per sottofondi effettuata dalla *Public Road Administration* degli S. U.; secondo tale classifiéazione i terreni appartenenti a quel gruppo sono considerati come discreti [4].

Una conferma a ciò può aversi secondo un più recente criterio di valutazione dei terreni e cioè quello denominato dell'*indice di gruppo,* largamente adottato sia negli S. U. che in Francia; secondo questo metodo [5] la pozzolana si presenta perfettamente a posto, con un indice compreso tra 2 e 4; ten-

gasi presente che l'indice varia tra 0 e 20 per terreni rispettivamente buoni e pessimi.

Altra caratteristica positiva della pozzolana è costituita dal fatto che il limite di ritiro è sempre superiore al grado ottimo di umidità corrispondente al PROCTOR Standard, il che costituisce motivo di sicurezza contro il pericolo di fessurazione dopo il costipamento.

Se come grado di addensamento si pone quello corrispondente al PROCTOR Standard (il che per sottofondi stradali è di prammatica, riservando il PROCTOR modificato ai sottofondi per aeroporti) l'escursione del grado di umidità entro il quale si ha al massimo una diminuzione di addensamento del 5% è di circa 4/100, il che è abbastanza comodo, grazie alla forma della curva $d_s = f(u)$ riportata in fig. 1.

Come inciso, cade opportuno a questo punto osservare che, allo stato, nei capitolati di appalto di lavori stradali si pone di solito un limite minimo alla densità dei sottofondi con lo stabilire che questi debbano essere compattati fino ad almeno il 90 o 95% della densità PROCTOR questa prassi è però errata nei confronti del fine da raggiungere perchè, come giustamente notato dal BURMISTER [6], ciò equivale a considerare come punto di partenza del costipamento una densità nulla, il che è assurdo.

Il fattore percentuale per avere un concreto valore deve riferirsi non già al valore assoluto della densità secca PROCTOR ma bensì alla escursione massima dello *addensamento* rappresentata dalla differenza D max — D iniziale, essendo D max il valore della densità massima PROCTOR e D iniziale quello del terreno sciolto così come viene messo nel cilindro PROCTOR.

Sarebbe opportuno quindi parlare di *grado di addensamento* riferito al PROCTOR solo per quanto riguarda il valore di D max; questo *grado di addensamento* (altrimenti denominato *compaction ratio* in America [7] o *efficiency of compaction* in Inghilterra [8], con criterio analogo a quello indicato dal Prof. A. CROCE [9] e che si basa sulla porosità anzichè sulla densità secca) è espresso dalla relazione:

$$c = \frac{\text{D max} - \text{D attuale}}{\text{D max} - \text{D iniziale}} \cdot 100$$

Da notare infine i buoni *valori* del C.B.R. asciutto e del C.B.R. sommerso per quattro giorni e la trascurabile entità del rigonfiamento.

Un po' perplessi lascia invece il risultato della prova di sommersione in acqua dei provini di pozzolana semplice, costipata al PROCTOR normale; il loro rapido sfaldarsi si ricollega alla caratteristica dei terreni del gruppo A_4 *capaci di assorbire acqua rapidamente, determinando smottamenti* [1].

In base a tanto, a noi pare che mentre per i sottofondi la pozzolana risponde bene, particolare cura va data alla superficie delle scarpate.

Le lievi diversità che si riscontrano nei due tipi di terre pozzolaniche A e C, sono da attribuirsi principalmente, in prima approssimazione, al diverso contenuto di passante al setaccio 200 e al diverso contenuto di sostanze organiche.

2) *Idoneità a costituire struttura portante.*

Definita come *struttura portante* tutta quella *parte della soprastruttura avente il solo scopo di distribuire sul sottofondo i carichi dovuti al traffico,* ed in tal senso funzionalmente e strutturalmente differente dallo strato di usura destinato a costituire piano viabile soggetto alle azioni del traffico e degli agenti atmosferici [11], riteniamo che i risultati delle prove di stabilizzazione della pozzolana siano tali da consigliare l'impiego di questo materiale per tutta o per parte della struttura portante quando esso si trovi sul posto e a breve distanza.

C'è però da osservare che la rigidezza assunta dalla miscela calce-pozzolana è indubbiamente motivo di preoccupazione in quanto lo strato così stabilizzato verrebbe a lavorare come lastra continua; senza avere, d'altra parte, quelle elevate caratteristiche meccaniche che consentono l'impiego dei calcestruzzi cementizi in lastre. Di fronte a questo problema la risposta sul piano tecnico — economico è certamente possibile, operando contemporaneamente sia sul sottofondo e sia sulla struttura medesima.

In particolare, per quanto riguarda il sottofondo, è indispensabile che questo, se in rilevato, venga compattato per tutta l'altezza, oppure, se in trincea, per i primi 40 cm al di sotto del piano di formazione alla densità prestabilita. Per quanto riguarda la struttura in terra stabilizzata si possono presentare due possibilità: o impiego parziale o impiego totale nella formazione della struttura portante.

Nel primo caso lo strato di pozzolana stabilizzata funziona da sottofondazione in collaborazione con uno o più strati di materiali a struttura diversa, ma tutti di tipo flessibile, (misto granulometrico stabilizzato, massicciata con o senza semipenetrazione, conglomerato bituminoso a masse aperte ecc.) e allora la eventuale fessurazione potrebbe già essere scontata in partenza, non facendosi affidamento sulla monoliticità nè agli effetti della resistenza nè agli effetti delle infiltrazioni d'acqua; il suo spessore, frazione di quello totale, dovrebbe tener conto delle caratterisiche del sottofondo (non necessariamente pozzolanico, beninteso). Per sottofondi pozzolanici il metodo degli indici di gruppo conduce [5] ad uno spessore di sottofondazione in terra stabilizzata di 10 cm, mentre lo spessore della restante parte della struttura portante dovrebbe essere funzione dell'intensità del traffico pesante.

Nel secondo caso, e cioè struttura portante interamente in pozzolana stabilizzata (con densità pari a quella del PROCTOR modificata) funzionante, dopo un certo tempo, da lastra, si può impostare il dimensionamento in analogia a quello delle pavimentazioni cementizie, tenendo conto della resistenza a flessione, senza pretendere, beninteso, di arrivare a tanto.

È chiaro che la convenienza all'uso di tale miscela si può avere solo se il rapporto tra i costi per m^3 di materiale in opera è inferiore al rapporto tra gli spessori occorrenti.

Allo stato non abbiamo ancora nè il valore della resistenza a flessione nè il coefficiente di dilatazione termica della miscela calce-pozzolana, i quali potrebbero fornirci utili elementi di confronto per un

impiego in analogia fra le fondazioni in calcestruzzo cementizio e quelle in pozzolana stabilizzata; sono però in corso prove in tal senso, su cui si riferirà in un secondo tempo.

A prescindere però dai risultati di dette prove, si ritiene fin d'ora che sarebbe opportuno suddividere lo spessore totale della struttura portante di pozzolana stabilizzata in più strati impregnati superficialmente con uno spessore di 2 o 3 mm di bitume liquido (circa 1 Kg per m^2); ci si garantirebbe in tal modo dal pericolo di infiltrazioni di acqua conseguenti a eventuali fessurazioni, specialmente se si riesce a ricoprire con altro strato le superficie impregnata prima che gli oli fluidificanti siano evaporati.

3) *Idoneità a costituire strati di usura.*

Le prove di usura eseguite in laboratorio hanno mostrato che la miscela calce-pozzolana impregnata in superficie con bitume presenta buone caratteristiche di resistenza; naturalmente questo risultato va inquadrato nel campo delle terre stabilizzate che possono essere adoperate come strati di usura solo per traffici relativamente scarsi, dell'ordine di 200-300 veicoli al giorno, con piccola percentuale di veicoli commerciali. In ogni caso con la limitazione all'impiego su di una struttura portante rigida e con l'intesa di rinnovare l'impregnazione quando lo strato impregnato di bitume sia completamente consumato.

Non è da escludere che sia possibile trovare il modo di impregnare uno strato maggiore di 3 mm; ciò costituirebbe una migliore sicurezza da eventuali infiltrazioni d'acqua attraverso abrasioni superficiali e minor frequenza di impregnazioni periodiche.

Indubbiamente l'utilizzazione della pozzolana come stratò di usura si presenta interessante e suscettibile di buoni sviluppi e pertanto ci ripromettiamo di proseguire le ricerche: ma di più largo e immediato interesse pensiamo che sia la indagine sulle possibilità di porre sottili tappeti bituminosi come strati di usura su strutture portanti di miscela calce-pozzolana. I riportati eseperimenti hanno mostrato che ciò è possibile, senza timore che il tappeto si strappi, purchè si adottino particolari accorgimenti; i risultati delle prove sono sufficientemente indicativi circa la scelta del modo di applicare il bitume per lo strato di impregnazione, e cioè bitume a caldo o emulsione bituminosa quando si intenda stendere subito il tappeto, e bitume liquido quando la distesa debba essere fatta dopo un certo tempo.

5) *Conclusioni.*

L'esperienza di costruttori di strade in zone pozzolaniche e i risultati delle prove sistematiche effettuate sulla pozzolana concordano pienamente nel far ritenere che la presenza di questo materiale sia un elemento favorevole per le costruzioni stradali; ciò sia per la provata rispondenza come sottofondo, sia per la possibilità di impiego, previa stabilizzazione, come struttura portante e sia infine per la possibilità di costituire economicamente ottime malte idrauliche per le opere d'arte in muratura.

Buone prospettive si aprono nel campo della viabilità minore per quelle zone che, ricche di pozzolana, hanno la possibiltà di costruire strade la cui struttura portante e, probabilmente, anche lo strato di usura, siano costituiti dalla pozzolana locale opportunamente stabilizzata.

Indubbiamente l'impiego della calce come additivo e di efficienti mezzi meccanici per il compattamento al grado ottimo di umidità costituiscono un sicuro metodo di stabilizzazione; ma ulteriori metodi devono essere ancora studiati per riuscire ad ottenere miscele plastiche per pavimentazioni flessibili.

Nella speranza di aver portato un contributo alla valorizzazione di risorse locali, ci auguriamo che presto altri studi ed esperienze portino ad una migliore conoscenza delle possibilità stradali di questo nostro materiale.

Napoli, ottobre 1956.

Bibliografia

[1] V. Cotecchia - *Vecche vedute e nuove ricerche sulle pozzolane.* Atti della Fondazione Politecnica per il Mezzogiorno d'Italia - E.P.S.A. Napoli 1955.

[2] K. B. Woods e E. T. Yoder - *Stabilization with soil, lime or calcium chloride as an admixture.* Proceedings of the conference on soil stabilization - M.I.T. 1952.

[3] *Norme per l'accettazione e per il collaudo dei materiali da costruzione.* Ist. Poligr. Stato 1940.

[4] J. H. Bateman - *Highway Engineering.* Wiley & Sons - New York 1948.

[5] R. Peltier - *Manuel du laboratoire routier.* Ed. Dunod - Paris 1955.

[6] Donald M. Burmister - *The importance and pratical use of relative density in Soil Mechanics.* Proceedings A S T M vol. 48.

[7] Chester Mc Dowel - *Selection of densities for subgrades and flexible-base materials.* Soil density and stability H. R. B. bull. 93 - Washington D. C. 1954.

[8] *The compaction of soils.* Road Research technical paper n. 17 - H. M. Stationary Office - London 1950.

[9] Arrigo Croce - *Studi geotecnici.* Atti della Fondazione Politecnica per il Mezzogiorno d'Italia. E.P.S.A. Napoli 1952.

[10] B. Bolis e A. Di Renzo - *Le pavimentazioni stradali.* Hoepli - Milano 1949.

[11] R. Di Martino - *La scelta della pavimentazione stradale.* Le strade - marzo 1956.

SOMMAIRE: Après avoir rappelé les buts et les méthodes de la stabilization des sols, l'Auteur expose les résultats des essais sur deux spécimens de pouzzolane éprouvés au Laboratoire de Routes de l'Université de Naples.

Les essais ont été séparés en trois groups pour évaluer la capacité de ce material à être employé comme sol de fondation (pouzzolane simple), comme infrastructure ou couche de fondation (pouzzolane stabilizé) et comme couche d'usure (pouzzolane stabilizée).

Pour le premier but ont été exécutés l'analyse granulometrique, les limites d'ATTERBERG, l'essais de PROCTOR, le C.B.R. etc:; pour le second but, plusieurs types de stabilization ont été experimentés, mais les essais méchaniques ont été poursuivés seulment sur les spécimens stabilizés par le 5% de chaux en poudre; ces-ci ont montré bonne characteristiques.

Pour la couche d'usure, on a eu des bon résultats avec des spécimens de pouzzolane stabilizée avec le 5% de chaux compatcé au 95% PROCTOR Modifié et impregné par Essofix 1.

Les premiers experiments ayant été encourageant, l'Auteur crois que en les poursuivant on pourra arriver à l'emploi le plus large de la pouzzolane stabilizée dans les constructions routières dan les pays riches de ce matériel.

SUMMARY: After a brief review of the aims and of the methods of stabilization of soils, the Author reports the results of the tests on two samples of pozzolan performed in the Road Laboratory of Naples University.

The tests have been divided into three gorups in order to evaluate the ability of that material to be used as subgrade (plain pozzolan), as base course (stabilized pozzolan) and as wearing course (stabilized pozzolan).

For the first purpose, the granulometric analysis, the ATTERBERG limits, the PROCTOR values, the C.B.R. etc. have been considered; for the second purpose many kinds of stabilizations have been tried and then only the samples stabilized with 5% of lime have been tested extensively, as having shown good mechanical qualities.

Satisfactory behavior for the wearing course by samples of the pozzolan stabilized with 5% lime, densified at 95% Mod. PROCTOR and primed with Essofix 1, has been found.

The Author believes in successful use of the stabilized pozzolan as road material in the countries where it is easily available.

LA CARTA GEOLOGICA DELLA SICILIA

Col decreto legislativo 14 giugno 1949 n. 21 del Presidente della Regione Siciliana venne deciso l'aggiornamento e la pubblicazione della carta geologica della Sicilia, e venne istituito il Comitato Geologico Regionale, incaricato della direzione dei relativi lavori.

Tale Comitato ha però iniziato la sua effettiva attività solo da un paio di anni, sotto la nuova presidenza dell'ing. Enzo BENEO, Direttore del Servizio Geologico d'Italia e direttore dei rilevamenti in Sicilia.

Sono membri del Comitato Geologico Regionale della Sicilia: il prof. Bruno ACCARDI, Direttore dell'Istituto di Geologia della Università di Catania; il prof. Angelo BELLANCA, Direttore dell'Istituto di Mineralogia dell'Università di Palermo; il prof. Giuseppe APRILE, Direttore dell'Istituto di Arte Mineraria dell'Università di Palermo; l'ing. Gaspare LAMPASONA, Dirigente del Distretto Minerario di Caltanissetta; il prof. G. Battista FLORIDIA, Docente di Paleontologia dell'Università di Palermo.

Frattanto molti studi geologici, inerenti alla revisione della carta geologica, si andavano già eseguendo in relazione alle ricerche di zolfo e di idrocarburi promosse dalla Regione Siciliana, sotto la direzione di due appositi rispettivi Comitati.

Quanto al Comitato Geologico Regionale, mentre da un canto esso ha già intrapreso la continuazione dei lavori di rilievo, dall'altro va curando la pubblicazione dei fogli ultimati.

I primi fogli della nuova Carta geologica della Sicilia hanno così visto, recentemente, la luce.

Si tratta dei fogli 265 (Mazara del Vallo), 268 (Caltanissetta), 272 (Gela) e 275 (Scoglitti), rilevati, in collaborazione, da oltre una diecina di geologi, metà dei quali appartenenti al Servizio Geologico d'Italia.

La stampa eseguita a cura del Servizio medesimo sul fondo topografico dell'Istituto Geografico Militare, oltre che molto curata, è assai nitida, specie per quanto concerne la distinzione dei colori.

Più che di una revisione, si tratta di un rifacimento totale, eseguito con rilievi di campagna e tenendo conto delle conoscenze acquisite ad opera di un numeroso stuolo di studiosi dall'epoca della pubblicazione della prima carta ad oggi, su un fondo topografico di eccezionale bontà, per nitidezza, luminosità, facilità di lettura, disegnato in nero, con curve di livello in bistro e con idrografia in azzurro.

Sui fogli che comprendono tratti di mare sono riportate le curve batimetriche, e la morfologia dei fondali è messa in maggior risalto sia mediante sfumo, sia mediante una maggiore o minore intensità della tinta ipsometrica.

La carta si presenta arricchita anche di segni relativi alle frane, alle miniere, all'ubicazione di sondaggi per ricerca mineraria, alle manifestazioni di idrocarburi ecc.

Anche l'interpretazione tettonica e strutturale è molto facilitata perché lungo i margini dei fogli sono talora riportati degli spaccati disegnati lungo le direzioni più significative e, in ogni caso, lo schema dei rapporti fra le serie stratigrafiche affioranti, o meno, nell'ambito del foglio, con le eteropie, variazioni di potenza, ecc., dei singoli termini litologici.

Alcuni altri fogli sono già pronti per la stampa, alla quale sarà dato corso non appena saranno resi disponibili i fondi all'uopo stanziati, e cioè quanto prima.

Altri fogli sono già rilevati e occorre solo prepararli per la stampa, altri sono in corso di rilevamento.

A partire da questo momento, dunque, si spera che i vari fogli vedano la luce con un certo ritmo ed in tempo notevolmente breve.

I quattro fogli fino ad ora stampati sono in vendita al pubblico presso la Libreria di Stato ai seguenti prezzi: L. 1.500 per i fogli Mazara del Vallo e Scoglitti, e L. 1.700 per i fogli Gela e Caltanissetta.