

COSTRUZIONE DI RILEVATI E SOTTOFONDI STRADALI CON TUFI CALCAREI (*)

L. CASTELLANO (**)

Sommario - Si espongono i risultati di un'indagine sull'impiego di calcari arenacei organogeni del pliocene (tufi calcarei) della zona di Canosa di Puglia (Bari) per la formazione di rilevati e sottofondi stradali.

Premessa

La costruzione di una strada nella zona di Canosa di Puglia (Bari) ha interessato, con una tratta in trincea, una formazione di calcari arenacei organogeni del pliocene.

Dette materie, chiamate localmente tufi, nella loro sede naturale, si presentano in banchi di notevole potenza; la trincea stradale, profonda fino a 10 m circa, non ha interessato la formazione in tutto il suo spessore.

Su di un fronte verticale si distingue una parte superficiale (1+3 m circa), vistosamente fratturata e con occlusioni di terreno vegetale. La parte sottostante si presenta a struttura uniforme, che si conserva anche negli strati più profondi. Raramente si rinviene qualche frattura che interessa la formazione al di sotto dello strato superficiale.

Prove preliminari, effettuate su campioni non fratturati delle dette materie, hanno dato i seguenti risultati:

— peso specifico apparente:

$$\gamma = 1,602 \text{ g/cm}^3$$

— peso specifico reale:

$$\gamma_r = 2,68 \text{ g/cm}^3$$

— resistenza a compressione semplice:

$$\sigma_j = 41,9 \text{ kg/cm}^2.$$

Trattasi di materie a struttura vacuolata, costituita da particelle elementari più o meno dure, mediocrementemente cementate da una parte molto fina, che ha funzione di legante.

Per effetto della frantumazione del materiale, sulle

facce di rottura si distacca la parte legante, che facilmente si riduce in polvere.

Detta polvere, se impastata con acqua, riacquista una certa coesione, che si conserva anche dopo essiccazione.

La plasticità del frantumato non è rilevabile attraverso i limiti di consistenza.

I calcari arenacei, provenienti dallo scavo di sbancamento, ridotti in scaglie, frammenti e polvere (dimensioni 0/10 cm), sono stati poi impiegati per la costruzione di rilevati in tratte attigue; nel testo che segue il materiale così descritto verrà chiamato « tout-venant ».

Prevedendo una frantumazione molto spinta per poter raggiungere elevati valori del peso-volume del secco in sito, si son volute determinare in laboratorio le relazioni intercorrenti fra frantumazione delle materie, grado di costipamento e resistenza meccanica.

Successivamente, sulla base dei risultati di laboratorio, è stata effettuata un'indagine in cantiere per accertare se i mezzi di costipamento a disposizione (rullo a punte, rullo vibrante) fossero idonei a conferire al materiale in opera caratteristiche analoghe a quelle ritenute soddisfacenti nelle prove di laboratorio.

Indagini di laboratorio

La ricerca è stata impostata sottoponendo a prove di costipamento ad energia variabile alcune serie di campioni.

Di volta in volta, si sono impiegate scaglie e frammenti di materiale a dimensioni prefissate. Dopo ciascuna prova si è misurata la frantumazione di costipamento, determinando la percentuale del passante al setaccio n. 4 A.S.T.M. ($d = 5 \text{ mm}$), che è stata chiamata « percentuale di frantumazione ».

Le prove di compressione a dilatazione trasversale libera e di portanza C.B.R. hanno consentito di valutare la resistenza meccanica dei campioni, costipati con modalità e caratteristiche diverse.

(*) Comunicazione presentata al VI Convegno di Geotecnica (Pisa, 9 aprile 1963).

(**) Dott. Ing. Luciano CASTELLANO, Assistente Ordinario di Costruzioni di Strade, Ferrovie ed Aeroporti presso l'Università di Bari.

La prima serie è consistita in n. 3 prove di compattazione (1), effettuate con materie a granulometria compresa tra 2,54 e 1,9 cm (passante al setaccio 1" A.S.T.M. e trattenuto al 3/4") ed energia di costipamento come riportato nella Tab. I, nella quale sono indicati anche i risultati ottenuti.

TABELLA I

Risultati relativi alla prima serie di prove di costipamento.

	Prova		
	1 ^a	2 ^a	3 ^a
Energia di compattazione kg cm/cm ³	24,62	9,04	5,4
Max. peso - volume del secco g/cm ³	1,975	1,765	1,595
Umidità ottima %	11,7	12,5	14,5
Granulometria iniziale	3/4"-1"	3/4"-1"	3/4"-1"
% Frantumazione	100	66,5	35,0

In Fig. 3 sono riportate le curve di costipamento relative a questa prima serie di prove [curve a), b) e c)].

Nella Tab. II sono indicati i risultati di una seconda serie di prove di compattazione, effettuate tutte con apparecchiature come per le prove precedenti, energia di 5,4 kg cm/cm³ circa, ed impiegando, volta per volta, materie a pezzatura:

- prova n. 1'': 2,54 - 5,08 cm (setacci A.S.T.M. 1" - 2"),
- prova n. 2'': 1,9 - 2,54 cm (setacci A.S.T.M. 3/4" - 1"),
- prova n. 3'': 1,27 - 1,9 cm (setacci A.S.T.M. 1/2" - 3/4").

TABELLA II

Risultati relativi alla seconda serie di prove di costipamento.

	Prova		
	1 ^a	2 ^a	3 ^a
Energia di compattazione kg cm/cm ³	5,4	5,4	5,4
Max. peso - volume del secco g/cm ³	1,550	1,595	1,605
Umidità ottima %	13,0	14,5	16,2
Granulometria iniziale	1" - 2"	3/4" - 1"	3/4" - 1/2"
% Frantumazione	25	35	50

Infine su campioni addensati, con caratteristiche come dalle prove 1', 2' e 3', sono state effettuate prove:

- di compressione a dilatazione trasversale libera, dopo essiccazione dei campioni in stufa termostatica a 110°C,
- di portanza C.B.R.

I risultati relativi a queste due ultime serie di prove sono riportati per punti sui grafici delle Figg. 1 e 2 ed espressi in funzione del peso-volume del secco.

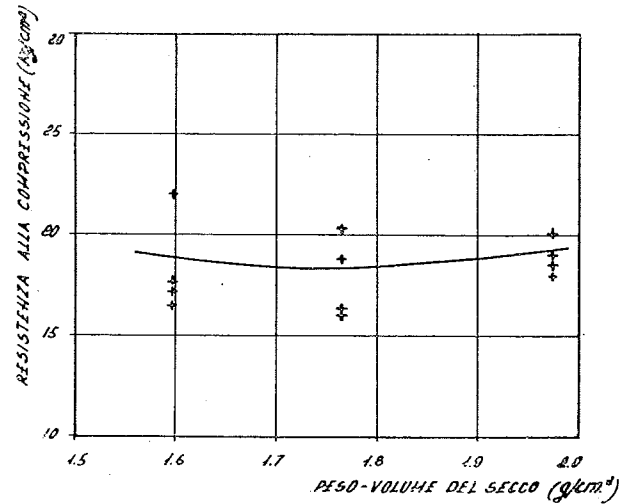


Fig. 1

Le prove 1' e 2' (energia di costipamento rispettivamente di 24,62 e 9,04 kg cm/cm³) hanno dato valori del max. peso - volume del secco maggiori del peso specifico apparente del tufo calcareo nella formazione in sito.

Ciò si spiega facilmente tenendo presente che l'elevata energia d'urto del pestello, durante le prove di costipamento, ha in buona parte distrutto la struttura estremamente vacuolata del materiale originario (porosità: $n = 0,403$).

Dalla Tab. I si rileva che, a parità di pezzatura del materiale di prova, il max. peso - volume del secco e le percentuali di frantumazione aumentano all'aumentare dell'energia di compattazione.

A parità di energia di costipamento (Tab. II), il max. peso - volume del secco ottenibile, e la percentuale di frantumazione risultano inversamente proporzionali alla pezzatura del materiale di prova.

Per energia di costipamento pari a 5,4 kg cm/cm³ circa, percentuali di frantumazione al di sopra del 35% influenzano poco il max. peso - volume del secco raggiungibile con le prove di laboratorio.

(1) Le prove di compattazione sono state effettuate con le seguenti apparecchiature di laboratorio:

- *fustella C.B.R.*: diametro: 15,24 cm
 altezza: 12,70 cm
 disco spaziatore: 5,08 cm di altezza
 volume del campione: 2,317 cm³
- *pestello C.B.R.*: diametro: 5,08 cm
 peso: 4,54 kg
- *pestello proctor standard*: diametro: 5,08 cm
 peso: 2,496 kg

Dalla Fig. 1 si rileva che, nell'intervallo di prova considerato, la resistenza alla compressione a dilatazione trasversale libera, per campioni di scaglie e frammenti addensati mediante costipamento, e successivamente essiccati in stufa, non varia in maniera apprezzabile all'aumentare del peso - volume del sec-

2) rullo vibrante, tipo semovente, peso 6 t, frequenza 1.500 - 3.000/1' circa;

b) la tecnica operativa corrispondente al rendimento max. di costipamento dei detti mezzi; al fine di poter confrontare successivamente i risul-

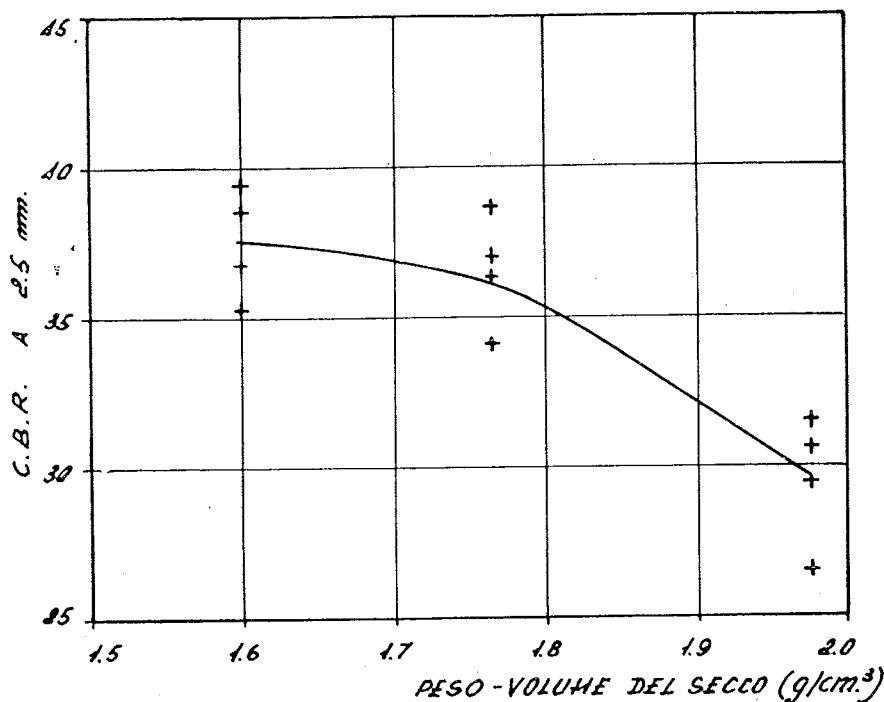


Fig. 2

co, quando valori più elevati di questo sono raggiungibili solo con frantumazione più spinta del materiale di estrazione dalla sede naturale.

La resistenza a compressione semplice di campioni di tufo calcareo, con le caratteristiche già dette, anche dopo essiccazione in stufa termostatica, è all'incirca la metà di quella di campioni non fratturati, con struttura come nella formazione originaria.

Dalla Fig. 2 si ha che l'indice di portanza C.B.R., sempre nell'intervallo di prova considerato, risente molto della percentuale di frantumazione delle materie, ed è funzione decrescente della predetta percentuale; inoltre, l'indice di portanza C.B.R. diminuisce all'aumentare del peso - volume del secco, quando nell'intervallo di prova considerato all'incremento del peso volume corrisponde un aumento della percentuale di frantumazione.

Indagini di cantiere

In cantiere sono state effettuate prove per determinare:

a) lo stato di addensamento max. del «tout-venant» di tufo calcareo portato a rilevato, ottenibile con i mezzi di costipamento disponibili in cantiere:

1) rullo a punte, trainato, peso totale 5 t circa;

tati ottenuti in cantiere con le risultanze di laboratorio, agli effetti della buona riuscita delle opere.

Su uno strato di «tout-venant» (dimensioni 0/10 cm) di spessore cm 20, sono stati effettuati una serie di passaggi del rullo a punte, dopo aver portato il materiale ad un contenuto d'acqua di circa il 15% ($w_{ott. Proctor stand.} = 14,5\%$).

Si è visto che detto rullo aveva funzione di frantumazione delle scaglie di tufo, le quali si riducevano a frammenti sempre più piccoli nei passaggi successivi. Infine si è rilevato che non si aveva un'azione efficace di costipamento, a causa del dislocamento laterale provocato dalle punte del rullo sul materiale ridotto ormai a dimensioni di sabbia fina.

Risultati ancora insoddisfacenti ha dato il rullo vibrante con frequenza 3.000/1', dopo qualche passaggio su uno strato di «tout-venant» in condizioni analoghe a quelle dello strato di cui si è già detto.

Ai primi passaggi del rullo si è avuta la frantumazione delle scaglie a pezzatura maggiore, e la formazione di una serie di crepe con disposizione superficiale a maglie. Dette crepe non si sono richiuse ai passaggi successivi del mezzo compattante, per l'insufficiente dislocazione del fino tra le particelle di pezzatura maggiore, dovuta all'azione contemporanea di frantumazione del grosso ed addensamento del fino da parte del rullo.

In seguito, sempre col rullo vibrante, è stata effet-

tuata una prova di costipamento con vibrazione a frequenza variabile.

La prova è stata condotta come segue:

1) si è disposto uno strato di circa cm 15 di spessore di tufo calcareo, a pezzatura 0/10 cm, per una tratta di lunghezza di circa m 30 e larghezza di m 3 circa;

2) detta tratta è stata suddivisa nel senso della lunghezza in altre tre, che sono state poi portate rispettivamente a contenuti d'acqua dell' 8 - 11 - 15% circa; tuttavia non si è riusciti ad avere un salto netto di umidità al passaggio tra una tratta e l'altra; in effetti si è avuto un passaggio graduale;

3) successivamente il materiale di ciascuna tratta è stato rimescolato per assicurare un contenuto uniforme d'acqua nello strato, ed è stata effettuata la compattazione con rullo vibrante, operando come segue:

— un solo passaggio con rullo senza vibrazione, per determinare un primo assestamento del materia-

la terza passata, si sono notate le prime brevi fessurazioni superficiali, che denunciavano la fine dell'azione costipante del rullo, e l'inizio di un'azione negativa;

4) a questo punto si è posto termine al costipamento, sono state effettuate prove peso - volume del secco nelle varie tratte, e si è constatato che la percentuale di frantumazione mediamente raggiunta dopo compattazione era pari a circa il 40%.

I risultati ottenuti (peso - volume del secco, contenuto d'acqua) sono riportati per punti in fig. 3 (curva d).

Detti punti, com'era da aspettarsi, si dispongono su di una curva proctor; essa differisce dalla curva di laboratorio, a parità di addensamento, perché è stata dedotta dalle prove in sito ed è spostata verso le zone delle percentuali più basse di contenuto d'acqua.

Il massimo peso - volume del secco, pari a circa 1,64 g/cm³, si ha in corrispondenza di un intervallo di contenuto d'acqua compreso tra l' 8,5 e l' 11%, pertanto tali percentuali di umidità danno il max.

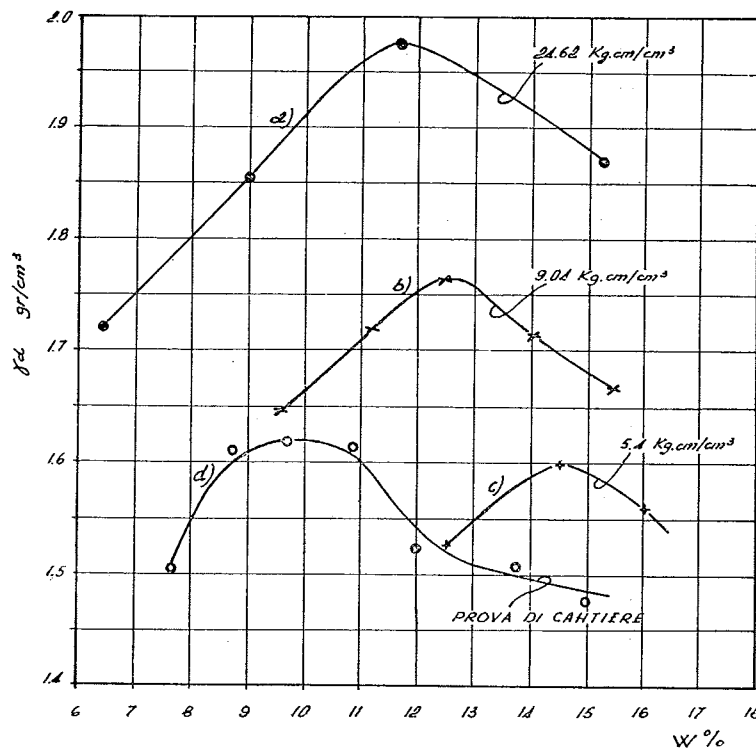


Fig. 3

le. Si è notata una cospicua frantumazione dei granuli più grossi, lo spianamento di tutto lo strato, con frapposizione del frantumato nei vuoti iniziali;

— un secondo passaggio con rullo a frequenza 1.500/1' circa, provocando ulteriore frantumazione e buona compattazione del frantumato a chiusura dei vuoti fra i granuli più grossi, ridotti ormai a dimensioni max. di 3 ÷ 4 cm;

— successivi tre passaggi con rullo a tutta frequenza (3.000/1' circa), al primo e secondo passaggio hanno dato un notevole effetto costipante; mentre al-

rendimento dell'energia di costipamento impiegata.

Le prove di cantiere sono state effettuate su strati di 15 - 20 cm di spessore, perché precedentemente si era visto che, su strati di « tout-venant » di maggiore spessore, i mezzi meccanici non riuscivano ad esplicare la loro azione in modo uniforme ai vari livelli.

Conclusioni

a) I calcari arenacei in questione, chiamati localmente tuffi, sono rocce molto friabili e vacuolate; tut-

tavia il legame originario è più tenace di quello che si riesce a dare al materiale dopo frantumazione e successivo costipamento, anche se questo raggiunge valori del peso - volume del secco maggiori del peso specifico apparente della formazione in sito.

b) Durante il costipamento, l'azione di distruzione dei legami originari di struttura del tufo calcareo è direttamente proporzionale all'energia di costipamento, ed inversamente alla pezzatura del materiale di prova. All'aumentare della percentuale di frantumazione, il tufo calcareo oggetto della ricerca evolve le sue caratteristiche granulometriche fino a ridursi a sabbia fina.

c) Correlando i valori della resistenza meccanica con quelli del peso - volume del secco, si può ritenere che valore soddisfacente per il materiale a scaglie, frammenti e polvere («*tout-venant*»), costipato in sito per la formazione di rilevati e sottofondi, sia:

$$\gamma_d = 1,6 \text{ g/cm}^3$$

valido per frantumazione compresa tra le percentuali del 35 e 45% circa. E' inutile, e perfino controproducente agli effetti della resistenza meccanica, raggiungere valori più elevati del peso - volume del secco in sito, quando a questo fine si debba rendere necessario realizzare percentuali di frantumazione più elevate.

d) Il rullo a punte ha cospicua azione di frantumazione e riduce facilmente il *tout-venant* di tufo a sabbia fina; tuttavia non riesce a compattare in misura efficace.

e) Partendo da *tout-venant* (dimensioni 0/10 cm), e per strati di circa 15 cm, un rullo vibrante del tipo esaminato è sicuramente idoneo a conferire al materiale caratteristiche di addensamento analoghe a quelle giudicate soddisfacenti nelle prove di laboratorio, a condizione di operare con frequenze crescenti.

f) Quest'ultimo rullo può esplicare la sua azione di costipamento più efficace quando il materiale è ormai ridotto a dimensioni prossime a quelle finali desiderate: percentuale di frantumazione tra il 35 e 45%, $d_{\max} \approx 3$ cm.

g) In definitiva, per ottenere l'addensamento (strati di 15 - 20 cm) del materiale in opera (formazione di rilevati e di sottofondi), si può ritenere che il procedimento più conveniente sia:

— impiego preventivo del rullo a punte, per ridurre i pezzi più grossi (scaglie) alle dimensioni più opportune (punto f);

— passaggio del rullo vibrante, per il costipamento definitivo.

CONSTRUCTION DE REMBLAIS ET DE SOUS-FONDA-TIONS DES ROUTES AVEC DES TUFES CALCAIRES

Sommaire: On expose les résultats d'une recherche sur l'emploi des calcaires arénacés organogéniques du pliocène (tufs calcaires) de la région de Canosa di Puglia (Bari), pour l'exécution de remblais et de sous-fondations des routes.

CONSTRUCTION OF ROAD EMBANKMENTS AND SUB-GRADES WITH TUFACEOUS LIME-STONES

Summary: It is detailed the result of a research about the use of arenaceous organogen lime-stones of the pliocene (tufaceous lime-stones) in area of Canosa di Puglia (Bari), for the formation of road embankments and subgrades.