

# RULLI GOMMATI PESANTI PER UN PARTICOLARE PROBLEMA DI COSTIPAMENTO IN PROFONDITA' (\*)

G. MORALDI - M. GRIMALDI (\*\*)

**SOMMARIO:** Si riferisce su alcuni particolari problemi di costipamento che si sono dovuti affrontare per la creazione del sedime dell'aeroporto di Genova e che hanno consigliato di ricorrere all'impiego di rulli gommati pesanti.

## 1 - Introduzione

Il sedime dell'aeroporto è stato ricavato dal mare su fondali la cui profondità si spingeva fino a 12 ÷ 14 m, provvedendo a delimitarne preventivamente il perimetro mediante una banchina di contenimento costituita da cassoni in cemento armato ed a riempire lo specchio d'acqua risultante con materiale di riporto.

Questo era formato in parte da una colmata idraulica di sabbia fine dragata dal fondo marino nelle vicinanze, in parte da materiale vario, non selezionato, proveniente da pubblica discarica.

Tutta la parte sottostante la pista di volo è costituita da colmata del primo tipo, iniziata ai primi del

1960 nel tratto Est, e terminata ai primi del 1962 nel tratto Ovest, colmata che si spinge fino a quota +0,50 m all'incirca.

La pubblica discarica, terminata di gettare nel 1959 su fondali di circa 8-10 m di profondità, fino ad una quota media di +1,50 m, interessa una zona dove dovranno sorgere i fabbricati e dove attualmente vengono costruite le pavimentazioni dei piazzali di sosta.

Al di sopra della quota media di +0,50 m il rilevato della pista di volo, fino al piano di imposta della sovrastruttura, che si trova a quota di +2,40 m, è costituito da granulare misto, steso in parte in economia dall'Amministrazione alla fine dell'anno 1960 ed all'inizio del 1961, ed in parte dalla Impresa appaltatrice dei lavori dopo l'autunno del 1961.

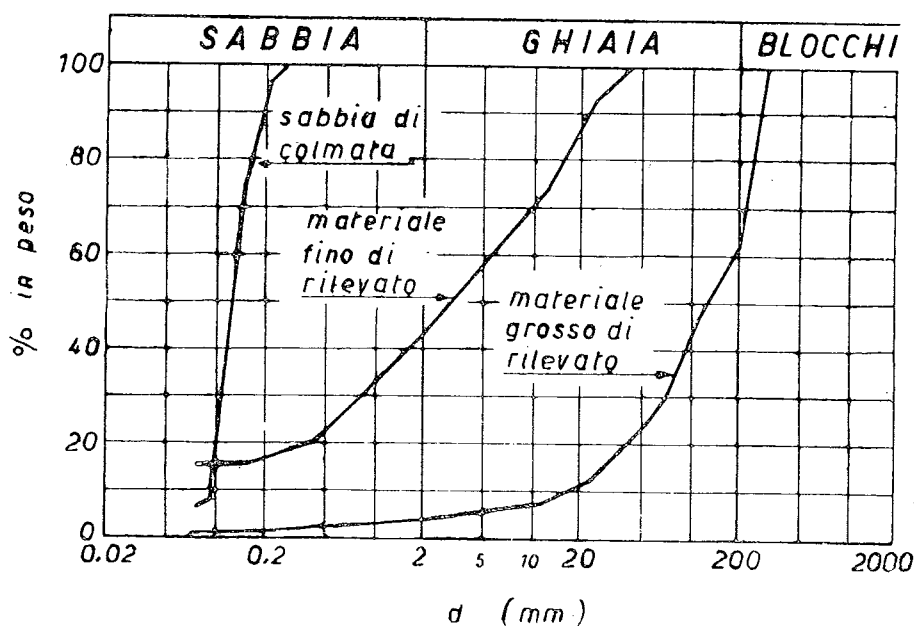


Fig. 1

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

(\*\*) Prof. Ing. Giorgio MORALDI, Libero Docente in Tecnica delle Fondazioni e Costruzioni in Terra. Assistente dell'Istituto di strade dell'Università di Roma.

Dott. Ing. Mario GRIMALDI, Direttore dei Lavori dell'Aeroporto « Cristoforo Colombo » di Genova.

## 2 - I materiali

Come già è stato accennato, il materiale di colmata idraulica è costituito da sabbia fine incoerente pressoché monogranulare, di diametro inferiore a 0,2 mm la cui granulometria è riportata nella Fig. 1.

Il granulare misto sovrastante è costituito da materiale di provenienza, pezzatura e forma la più varia, in quanto, data la deficienza di cave sufficientemente estese nella zona, si doveva accettare che andasse a rilevato sia granulare misto di ghiaia e sabbia di fiume più o meno ricco di ciottoli, sia detrito frantumato di cava avente talora una elevata percentuale di fino, talora di grosso.

La composizione granulometrica del materiale, cui si richiedeva che non fosse plastico e che non contenesse sostanze organiche, si presentava quindi di una estrema variabilità da punto a punto, compresa nei limiti rappresentati dalle curve di Fig. 1.

### 3 - Le lavorazioni in sito

Si cercava di correggere questa variabilità con una azione di rimescolamento esercitata dal mezzo mecca-

### 4 - Necessità di ricorrere a mezzi particolari di costipamento

Ai fattori di disomogeneità testè indicati, si aggiungeva il timore che, frammisto a materiale idoneo, vi potessero essere, nel vecchio rilevato ed in quello costituito da materiale di pubblica discarica, delle inclusioni di terreno limo-argilloso compressibile, dato che il controllo che si era potuto esercitare durante la fase di costruzione era stato necessariamente piuttosto sommario.

Zone cedevoli inoltre potevano anche essere presenti nei tratti del nuovo rilevato, a causa di materiale fine bagnato segregatosi durante la stesa, essendosi dovuto eseguire il costipamento, per motivi di urgente ultimazione dei lavori, nella primavera del 1962, notoriamente assai piovosa, in condizioni ben lontane dalla umidità ottima.

A prescindere perciò dagli assestamenti di massa degli strati più profondi, cui il terrapieno va inevi-

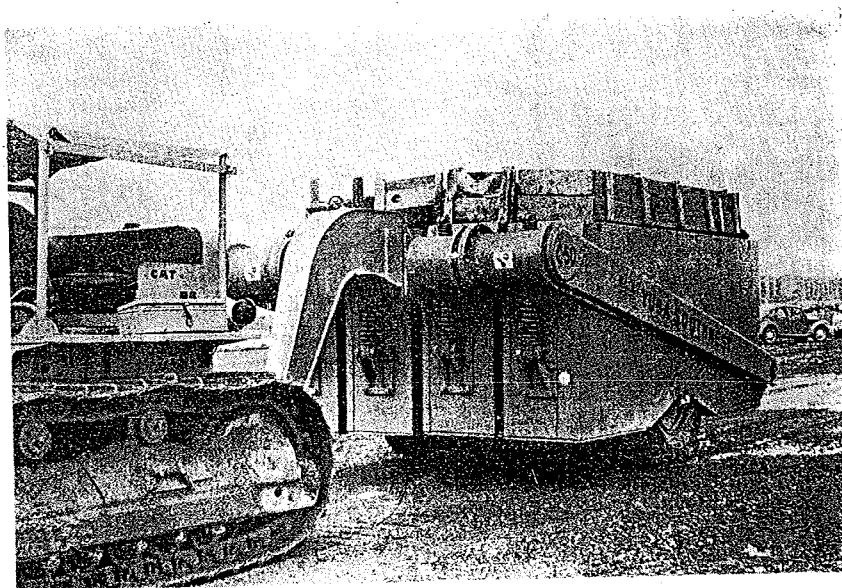


Fig. 2

nico adibito alla stesa, ed allontanando o frantumando i blocchi più grossi; ma si trattava di palliativi atti a ridurre, ma non ad eliminare, l'inconveniente.

A questa disomogeneità, diciamo così costitutiva del materiale, si aggiungeva una disomogeneità di lavorazione, dovuta ai diversi metodi e tempi in cui questa era stata eseguita.

La parte infatti di rilevato più antica era stata costipata con mezzi piuttosto rudimentali, senza che fosse stata controllata la umidità o il grado di addensamento raggiunto, mentre sulla parte di nuova lavorazione il materiale veniva steso in strati e costipato con rulli compressori e mezzi vibranti, provvedendo a controllare il costipamento a mezzo di prove di carico con piastre.

I tratti infine in cui il rilevato era costituito da pubblica discarica non avevano subito altro costipamento che quello derivante dall'azione del proprio peso, delle intemperie e delle mareggiate.

tabilmente soggetto con il tempo per effetto del proprio peso, e sul quale non vi è possibilità di intervenire in modo efficace, ma che si ritiene debbano essere pressoché uniformi, si aggiungeva la probabilità che si manifestassero assestamenti differenziali localizzati in fase di esercizio per effetto del traffico.

Per evitare quanto più possibile questo inconveniente venne stabilito, all'inizio dei lavori di nuovo appalto, di sottoporre tutta la superficie del rilevato eseguito in precedenza ad una azione di costipamento agente in profondità, prima di intraprendere ulteriori lavori di rinterro per il riporto in quota del rilevato stesso, e prima di dar inizio alla costruzione della sovrastruttura.

Quale mezzo costipante si è ricorso al più pesante rullo gommato che fosse possibile reperire sul mercato, dopo aver scartato la possibilità di impiegare rulli o piastre vibranti pesanti, che ci si sarebbe potuto procurare con difficoltà, e la cui azione in profondità sarebbe dipesa troppo dalla maggiore o mi-

nore presenza di materiale fino legante nel terrapieno.

Il rullo gommato inoltre, presenta il vantaggio di simulare l'azione del traffico gommato di esercizio agente in superficie.

Il mezzo adottato è stato un rullo gommato trainato del peso massimo di 100 t, costituito da un cassone zavorrato con rottami di ghisa, diviso in compartimenti articolati fra loro a cerniera, ognuno poggiante su una ruota pneumatica gigante, (v. Fig. 2). Al traino veniva adibito un trattore tipo D/8 *Caterpillar*.

### 5 - Tecnica di impiego dei rulli gommati pesanti

Non è fuor di luogo soffermarci brevemente sulla tecnica di impiego di questi rulli gommati pesanti, giacché, pur essendo da diversi anni usati correntemente all'estero ed esistendo a loro riguardo una letteratura tecnica sufficientemente estesa [1], [2], [3], [4] la loro introduzione sui cantieri stradali italiani è molto recente (1).

Tali rulli, il cui peso può variare dalle 50 alle 200 t, con pressioni di gonfiaggio comprese fra 5,5 e 10 kg/cm<sup>2</sup> possono essere chiamati a svolgere 3 distinte funzioni:

1) Una funzione di normale costipamento su terreni di varia natura, che possono andare dalle argille ai misti granulari e blocchi. In tal caso il loro uso consente di raggiungere elevatissime densità in sito se impiegati su strati sottili, ovvero di aumentare il rendimento dell'operazione impiegandoli su strati più spessi.

2) Una funzione di perfezionamento del costipamento in profondità impiegandoli su rilevati o su sottofondi insufficientemente costipati.

3) Una funzione di vero e proprio collaudo delle strutture impiegandoli su rilevati, sottofondi, strati di fondazione o su pavimentazioni finite di cui si vuol saggiare il comportamento mettendone in luce i punti deboli per correggere tempestivamente i difetti prima di procedere oltre con la costruzione degli strati sovrastanti o prima di aprire al traffico la pavimentazione.

Nell'impiego di questi rulli occorre tenere ben presenti le seguenti avvertenze, onde non sprecare inutilmente energia costipante o, quel che è peggio, diminuire, anziché migliorarle, le qualità portanti di un terreno.

Si osservi anzitutto che, per quanto si riferisce alle caratteristiche del rullo, la maggiore o minore densità che si può raggiungere costipando in strati sottili, aventi spessore dell'ordine di 30-40 cm allo stato sciolto, dipende dalle pressioni di gonfiaggio e non dal peso della macchina. Questo invece condiziona, a parità di pressione, la maggiore o minore profondità a cui si risente l'azione costipante.

Eccedere inizialmente nel peso e nella pressione di gonfiaggio, se il terreno possiede poca coesione (argilla plastica, sabbia incoerente) può significare non costipare affatto, ma semplicemente creare una condi-

zione di instabilità facendo refluire il terreno sotto le ruote. In tal caso occorre ricorrere al costipamento per stadi successivi, cioè portare gradualmente il terreno ad acquistare una certa portanza per renderlo capace di sopportare il peso del rullo, e ciò si può ottenere o alleggerendo il rullo stesso nella prima fase e riducendone la pressione di gonfiaggio, ovvero impiegando mezzi costipanti più leggeri.

Per quanto riguarda le condizioni di umidità del terreno al momento del costipamento per ottenere il massimo rendimento del mezzo occorre che esse siano prossime alla umidità ottima (2).

Nel caso frequente che l'umidità sia superiore alla ottima, si riusciranno ad ottenere densità più elevate che non impiegando i normali mezzi costipanti purché non si ecceda con l'umidità al punto da raggiungere la condizione di instabilità conosciuta col nome di « cuscino di gomma » e che consiste in un particolare comportamento pseudo-elastico del terreno, per cui questo si comprime al passaggio del rullo per decomprimersi subito dopo.

Con questi contenuti di acqua inoltre, vi è il pericolo, con terreni limosi e argillosi, applicando una energia costipante eccessiva, di causare una perdita di portanza del terreno [6]. Tale fenomeno non si verifica con i terreni granulari permeabili.

Nel caso attuale il mezzo costipante doveva svolgere contemporaneamente le funzioni indicate ai punti 2 e 3, cioè aumentare la densità del rilevato esistente, ed al tempo stesso collaudare il comportamento onde rilevare l'eventuale presenza di lenti di terreno compressibile, o di tratti di terreno instabili per eccesso di materiale fino segregatosi all'atto della stesa, ovvero per eccesso di acqua intrappolata durante il costipamento a causa di condizioni meteorologiche avverse.

Si doveva quindi applicare in profondità delle pressioni che fossero superiori a quelle trasmesse dalle ruote dell'aereo più pesante transitante sulla pista (35 tonn. con pressione di gonfiaggio di 10 kg/cm<sup>2</sup>) ed al tempo stesso evitare di compromettere, con una azione troppo energica, la stabilità della struttura.

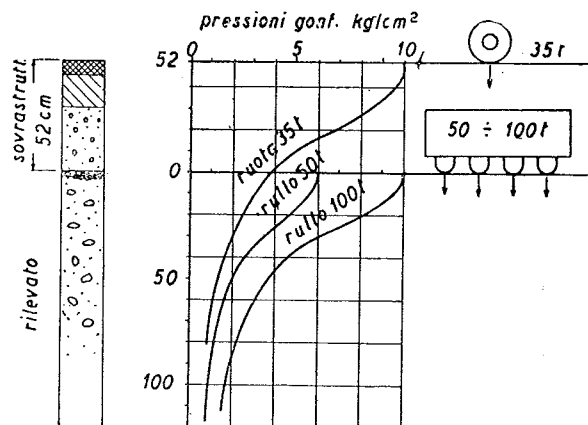


Fig. 3

Nella Fig. 3 è stato riportato il diagramma della distribuzione delle pressioni in profondità, deducendolo

(2) Si tratta qui della umidità ottima del terreno in sito, relativa al mezzo costipante adottato, che può differire da quella della prova tipo di laboratorio.

(1) Fa eccezione il rullo *Porter* da 200 tonn, usato diversi anni fa nel cantiere dell'aeroporto di Fiumicino, ma il cui impiego, per quanto risulta allo scrivente, non ha dato luogo a comunicazioni sulla stampa tecnica.

dai grafici di AHLVIN e FOSTER [5], per i due casi del rullo zavorrato a 50 t ed a 100 t con 6 e 10 kg/cm<sup>2</sup> rispettivamente di pressione di gonfiaggio. Confrontandoli con la distribuzione delle pressioni prodotta dalla ruota da 35 t agente in superficie (3), a parità di altre condizioni, si constata che il rullo caricato a 50 t applica alle diverse profondità delle pressioni che sono del 50% maggiori di quelle dovute alla ruota dell'aereo, mentre con il carico di 100 t si ottengono delle pressioni due volte e mezzo maggiori, e l'azione del rullo è sentita fino a profondità dell'ordine di m 1,0 ÷ 1,20.

Si è perciò dato inizio alla rullatura superficiale del vecchio rilevato della pista di volo con un carico di 45 t e con una pressione di gonfiaggio ridotta, carico che si è potuto ben presto aumentare a 90 t portando la pressione di gonfiaggio al valor massimo di circa 10 kg/cm<sup>2</sup> (4).

Per quanto riguarda l'umidità, è stato necessario saturare superficialmente il terreno per rammollire il crostone superficiale asciutto e relativamente impermeabile che si era formato, e talora scarificare affinché l'azione costipante venisse risentita in profondità.

Dopo l'esecuzione di n. 10 passaggi i risultati ottenuti sul tratto Est della pista si potevano così riassumere:

a) Il cedimento medio del rilevato è stato di 10 ÷ 15 cm; in alcuni tratti peraltro si sono manifestati cedimenti di oltre 20 cm o addirittura diversi sfondamenti, dovuti ad inclusioni di materiale compressibile che, così individuati, sono stati potuti prontamente bonificare.

b) Il numero di 10 passaggi è apparso sufficiente allo scopo, in quanto gli ammaloramenti si rivelavano in genere fra il 4° ed il 7° passaggio, ed era inutile insistere ulteriormente.

c) Il passaggio del rullo annullava l'effetto ripartitore del crostone superficiale, ma questo tendeva a riformarsi dopo evaporazione della umidità.

Sul rinterro in materiale di pubblica discarica si sono ottenuti dei risultati piuttosto inaspettati in quanto i cedimenti medi sono stati di poca entità (4 ÷ 5 cm) mentre si sono avuti cospicui sfondamenti (in cui il rullo è sprofondato fino al mozzo) dovuti ad inclusioni di materiale argilloso a profondità variabile fino ad 1,50 m dal piano di rullatura.

Alla luce dei risultati conseguiti si è anche impiegato il rullo su gli strati di rilevato più giovani dell'estremo Ovest della pista di volo e con risultati simili a quelli ottenuti sul tratto Est.

Sulla pista di rullaggio invece si è impiegato il rullo quale ordinario mezzo costipante, stendendo al di sopra della sabbia fine di colmata uno strato di materiale granulare di rilevante spessore (50 e 70 cm allo stato sciolto) assestandolo inizialmente con i normali mezzi

(3) Nell'ipotesi di uno strato di terreno omogeneo, prescindendo cioè dal maggior effetto di ripartizione dei carichi prodotto dagli strati della sovrastruttura.

(4) Durante le operazioni di rullatura si è mantenuto il rullo caricato un poco al di sotto del carico massimo inizialmente previsto per evitare un eccessivo consumo dei pneumatici sulle asperità del terreno.

costipanti di cantiere e provvedendo successivamente a completare l'azione mediante il rullo gommato.

Sugli strati più sottili (50 m) si è dovuto procedere per gradi, costipando inizialmente mediante 5 passate di rullo a carico ridotto di 50 t (cedimenti medi rilevati 8 cm) sugli strati più spessi (70 cm) si sono potuti direttamente applicare n. 10 passaggi di rullo a 90 t (cedimenti medi 14 ÷ 17 cm).

A seguito di queste operazioni si è potuto rilevare che la densità della sabbia di colmata dal valore di 1.33 era passato a 1.45 kg/dm<sup>3</sup>, chiaro segno che la azione di costipamento era stata efficace in profondità.

Anche in questo caso si sono notati cedimenti localizzati ed alcuni tratti in cui si verificava il fenomeno del cuscino di gomma, evidentemente dovuto a presenza di materiale fine e ad eccesso di umidità rimasta intrappolata al momento del costipamento. Una scarifica, seguita da prosciugamento, rimescolamento e successivo costipamento, consentiva di eliminare i punti deboli riscontrati.

## 6 - Controllo del costipamento

Il controllo del costipamento, data la particolare natura del materiale granulare di rilevato, non poteva assolutamente essere esercitato a mezzo della determinazione della densità in sito e del confronto con una densità massima di riferimento eseguita in laboratorio.

E' infatti noto che, affinché tale operazione sia possibile, occorre che la percentuale massima di trattenuto al crivello da 25 mm (corrispondente al setaccio da 3/4") non sia superiore al 25%.

Si è perciò fatto ricorso al metodo indiretto di controllo a mezzo di prova di carico con piastra da Ø 30 cm indicato dalla Norma Svizzera SNV 70317.

Come è noto, in tale metodo si determina il modulo di deformazione Md espresso in kg/cm<sup>2</sup> quale rapporto fra il carico unitario medio di 1 kg/cm<sup>2</sup> applicato alla piastra, e la corrispondente deformazione « Δ » in centimetri del terreno moltiplicato per il diametro « D » della piastra espresso in centimetri.

$$Md = \frac{1}{\Delta} D$$

Il carico unitario va scelto, per terreni di sottofondo, fra l'intervallo di carico di 0,5 e 1,5 kg/cm<sup>2</sup>.

Il valore minimo richiesto dal Capitolato per il modulo era di 800 kg/cm<sup>2</sup>, valore che potrebbe sembrare piuttosto elevato se si tiene conto che esso viene richiesto dalle Norme Svizzere solo per gli strati di fondazione.

Tale valore era peraltro giustificato dalla natura del materiale costituente il rilevato e dall'elevato grado di costipamento richiesto.

Alla prova dei fatti, da oltre 500 determinazioni effettuate, si è tratta la conclusione non solo che il metodo è idoneo a sostituire le normali prove di densità laddove il contenuto di materiale lapideo rende la de-

terminazione della densità in sito non attendibile, ma che il valore di 800 kg/cm<sup>2</sup> prescelto è atto a caratterizzare il grado di costipamento che deve possedere un rilevato costituito da misto granulare di ghiaia e sabbia senza materiale fino plastico, giacchè ogniquale volta tale valore non era raggiunto, ciò dipendeva da una effettiva deficienza di costipamento che una ulteriore rullatura, od un più accurato controllo della umidità di costipamento riusciva a sanare.

## 7 - Conclusione

Dall'esperienza ricavata da questo lavoro se ne deduce che i rulli gommati pesanti e pesantissimi rivelano possibilità di impiego molto interessanti per il costruttore e per il collaudatore di opere stradali in terra.

Oltre alla possibilità di realizzare un grado di costipamento superiore a quello degli altri mezzi, costituiscono un potente mezzo di indagine mobile, e quindi ad azione continua, per rivelare eventuali deficienze occulte, anche profonde, in un terreno di sottofondo prima di iniziare la costruzione dei rilevati e della sovrastruttura, eliminando in parte la necessità di sondaggi e campionature.

Consentono inoltre di effettuare delle vere e proprie operazioni di collaudo in corso d'opera di strati di rilevato, sovrastrutture e pavimentazioni finite, dato che possono riprodurre fedelmente le effettive sollecitazioni indotte dal traffico gommato agente in superficie.

## Bibliografia

- [1] TURNBULL e FOSTER - *Proof-Rolling of Subgrades* - H. R. B. Bulletin n. 254.
- [2] JOHNSON e SALLBERG - *Factors that Influence Field Compaction of Soils* - H. R. B. Bulletin n. 272.
- [3] TURNBULL e FOSTER - *Compaction of a Graded Crushed-di Geotecnica* - Londra 1957 - Vol. II pag. 181.  
*Stone Base course* - Atti: IV Congresso Internazionale
- [4] BUCHANAN e MAYER - *Interventi al V Congresso Internazionale di Geotecnica* - Parigi 1961 - Vol. III pag. 303-310.
- [5] AHLVIN e FOSTER - *Stresses and deflections induced by a uniform circular load* - Proceedings - H. R. B. 1954 - pag. 467.
- [6] FOSTER C. R. - *Reduction in Soil Strength with Increase in Density* - ASCE Transactions 120-803 - anno 1955.

## HEAVY PNEUMATIC ROLLERS FOR DEEP COMPACTION PROBLEMS

*Summary:* The use of heavy pneumatic rollers has solved some special problems concerning the compaction of the embankments of the Genoa airport.

In particular soft spots in the subgrade have been detected and promptly repaired. Data are given on the method of controlling the density obtained by means of plate bearing tests.

## ROULEAUX PNEUMATIQUES LOURDS POUR COMPACTER EN PROFONDEUR

*Résumé:* L'emploi de rouleaux pneumatiques lourds a permis de résoudre plusieurs problèmes concernant le compactage des remblais de l'aéroport de Gênes. En particulier ont pu être déterminés et améliorés les points de faible portance. Le contrôle du compactage a été fait au moyen d'essais par plaque.