

CONTRIBUTO ALLA RICERCA DEL PESO-VOLUME DEL SECCO OTTENIBILE CON MISCELE FINO-GROSSO (*)

L. CASTELLANO (**)

SOMMARIO: Tenendo conto di note considerazioni, si mette in evidenza, con formule semplici, l'intervallo di validità della formula di uso corrente per risalire dal peso-volume del secco del solo fino a quello totale di una miscela fino-grosso e l'andamento del fenomeno nel campo di non validità della formula di uso corrente.

Si espongono i risultati dei controlli sperimentali effettuati sull'influenza di alcuni fattori di scostamento tra i pesi-volume del secco totali calcolati di una miscela e gli analoghi valori ottenuti sperimentalmente.

1 - Generalità

La formula di uso corrente per risalire al peso-volume del secco totale di una miscela fino ($d_{max} < 5$ mm, passante al setaccio n. 4 A.S.T.M.) - grosso ($d_{max} > 5$ mm, trattenuto al setaccio n. 4 A.S.T.M.), dal peso-volume del secco della frazione fina, ottenuto in laboratorio con la prova PROCTOR, è la seguente.

$$d_t = f(p_g) = \frac{1}{\frac{p_g}{\gamma_g} + \frac{p_s}{d_s}} \quad (1)$$

dove:

d_t = peso-volume del secco della miscela,

d_s = peso-volume del secco della frazione < 5 mm,

γ_g = peso specifico dei granuli della frazione > 5 mm,

p_g = frazione $>$ mm, riferita al peso di tutta la miscela,

p_s = frazione < 5 mm, riferita ancora al peso di tutta la miscela.

I limiti di validità della formula (1) si ricavano facilmente considerato che detta formula deriva dal-

(*) Comunicazione presentata al VI Convegno di Geotecnica (Pisa, 19 aprile 1963).

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

l'eguaglianza:

$$\frac{p_g P}{\gamma_g} = \frac{P}{d_t} - \frac{(1 - p_g) P}{d_s}$$

dove:

P = peso della miscela.

Come è noto, la relazione posta per il volume nella

miscela della sola frazione grossa $V_g = \frac{p_g P}{\gamma_g}$ assu-

me il valore limite inferiore $V_g = 0$ per $p_g = 0$ ed in corrispondenza la (1) diventa $d_t = d_s$.

Il valore limite superiore dell'espressione di V_g : $V_g = P/\gamma_g$ per $p_g = 1$, si ha nel solo caso di frazione grossa costituita da un'unica particella, che occupa tutto il volume considerato; in corrispondenza risulta $d_t = \gamma_g$. Più generalmente il limite superiore di validità dell'espressione di V_g si ha per quella percentuale di grosso per cui le particelle di questa frazione sono a diretto contatto fra di loro, al massimo peso-volume del secco, d_g .

In corrispondenza si ha anche il limite superiore di validità della (1), che rappresenta anche il valore massimo del peso-volume del secco della miscela.

Detto massimo si ha per un insieme delle particelle della frazione grossa a diretto contatto fra di loro ed aventi peso-volume del secco d_g , con i vuoti, che così vengono a determinarsi, riempiti dalla frazione fina con peso-volume del secco d_s .

Raggiunto il valore massimo della (1), per ulteriori incrementi della percentuale di grosso nella miscela, il peso-volume del secco di questa frazione rimane

invariato ed il fino è in proporzioni insufficienti a chiudere i vuoti con peso-volume del secco d_s .

Per esplicitare il noto andamento della $d_t = f(p_g)$ nel tratto di non validità della (1) basta considerare l'espressione:

$$P_t = P_g + P_s,$$

dove:

P_t = peso totale della miscela.

P_g = peso della frazione grossa,

P_s = peso della frazione fina.

Detta espressione, dividendo per P_g , da:

$$\frac{P_t}{P_g} = \frac{P_g + P_s}{P_g}$$

o, in maniera equivalente:

$$\frac{P_t}{P_g} = \frac{1}{p_g}$$

Dividendo ancora per il volume apparente della miscela, eguale a quello occupato dal grosso, si ottiene:

$$d_t = \frac{d_g}{p_g} \quad (4)$$

Le coordinate del punto d'intersezione delle curve (1) e (4) valgono:

$$p_g = \frac{d_g}{d_g + (1 - d_g/\gamma_g) d_s} \quad (5)$$

$$d_t = \frac{d_g}{d_g + (1 - d_g/\gamma_g) d_s} \quad (3)$$

e rappresentano rispettivamente:

— il valore della percentuale della frazione grossa al limite di passaggio tra l'intervallo di validità della (1) e della (4) (curve a tratto pieno della figura 1).

— il massimo peso-volume del secco ottenibile della miscela.

In definitiva, il peso-volume del secco di una miscela, al variare della percentuale della frazione grossa, può essere studiato con la funzione $d_t = f(p_g)$, che assume l'espressione:

$$d_t = \frac{1}{\frac{p_g}{\gamma_g} + \frac{1 - p_g}{d_s}}$$

per

$$0 \leq p_g \leq \frac{d_g}{d_g + (1 - d_g/\gamma_g) d_s}$$

e l'espressione:

$$d_t = d_g/p_g$$

$$\frac{d_g}{d_g + (1 - d_g/\gamma_g) d_s} \leq p_g \leq 1.$$

Le formule (1) e (4) interpretano qualitativamente l'andamento del fenomeno in esame negli intervalli di validità di cui si è detto.

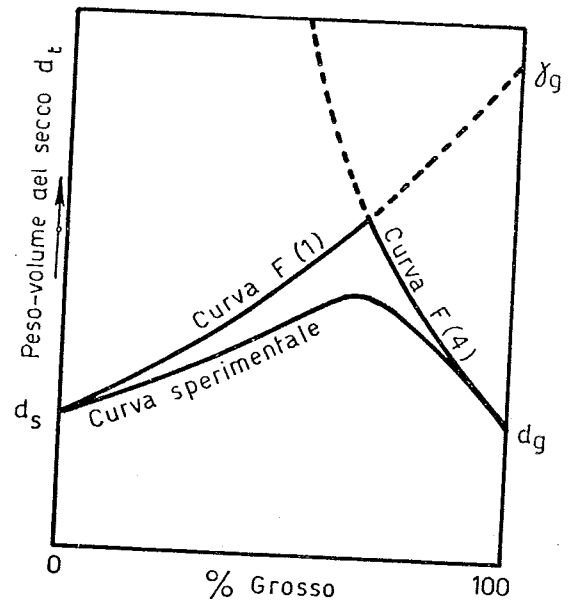


Fig. 1

In Fig. 1 è rappresentato l'andamento di una curva sperimentale $d_t = f(p_g)$ e quello delle analoghe curve ottenute applicando le formule (1) e (4).

2 - Fattori di scostamento tra le deduzioni teoriche ed i risultati sperimentali

La formula (1), nell'intervallo di validità esaminato, suppone che nella prova di compattazione la presenza della frazione grossa non alteri il peso-volume del secco del solo fino della miscela.

Analogamente, con la formula (4) si ipotizza che nella miscela il peso-volume del secco della sola frazione grossa non venga mai alterato dalla presenza del fino.

Invece nella realtà, come è noto, il peso-volume del secco di una terra, la distribuzione e le dimensioni dei suoi vuoti, a parità delle condizioni di prova di costipamento, sono funzione delle caratteristiche dell'insieme del materiale (peso specifico dei granuli, forma e stato fisico della loro superficie, granulometria).

Chiaramente quando si effettua la miscela di materiale fino con grosso, si turba la distribuzione dei vuoti della frazione fina, aumentandone più o meno

sensibilmente l'entità, sempre che la prova di compattazione venga effettuata ad energia costante.

Man mano che aumenta la percentuale della frazione grossa, aumenta la probabilità della formazione di vuoti aggiuntivi del fino nelle zone di contatto fino-grosso.

Inoltre i grani della frazione grossa hanno posizione reciproca più ravvicinata e diventa così più probabile che le dimensioni medie dei vuoti assumono valori prossimi a quelli del diametro massimo delle particelle della frazione fina, impedendo ulteriori assestamenti reciproci dei grani della miscela.

In queste condizioni il peso-volume del secco della miscela risulta notevolmente più basso di quello teorico, fino ad arrivare allo scostamento massimo per quella percentuale di grosso che realizza il massimo valore del peso-volume del secco della miscela.

3 - Controlli sperimentali

Le prove di laboratorio sono state effettuate impiegando materiali monogranulari e non plastici per ridurre i fattori di influenza sugli scarti, tra valori sperimentali del peso-volume del secco delle varie miscele, principalmente al rapporto fra le dimensioni dei vuoti del grosso e le dimensioni dei grani del fino ed alle percentuali della frazione grossa.

Sono state effettuate prove di costipamento su tre serie di miscele.

Dette miscele erano costituite da materiali non plastici a pezzatura:

- n. 1, 5 — 2 mm,
- n. 2, 2 — 0,84 mm,

— n. 3, 0,25 — 0,105 mm,

e peso specifico dei granuli di 2,70 g/cm³,

con l'aggiunta di grosso nelle percentuali del 20 - 40 - 60 - 80 - 100, ed a quella ottima determinata con la formula (3).

Il materiale grosso era costituito da ghiaia (1" — 1½") con peso specifico dei granuli di 2,70 g/cm³.

Le prove di costipamento sono state effettuate in fustella C.B.R. (V = 2.317 cm³) e con energia di 5,4 Kg.cm/cm³ circa.

TABELLA 1

P _g %	MISCELA n. 1			MISCELA n. 2			MISCELA n. 3		
	Cd _t g/cm ³	Sd _t g/cm ³	Δd _t %	Cd _t g/cm ³	Sd _t g/cm ³	Δd _t %	Cd _t g/cm ³	Sd _t g/cm ³	Δd _t %
0		1.69			1.62			1.73	
20	1.83	1.79	-2.18	1.76	1.75	-0.56	1.86	1.85	-0.53
40	1.99	1.88	-5.52	1.93	1.91	-1.03	2.02	2.01	-0.49
60	2.18	2.05	-5.96	2.13	2.09	-1.87	2.20	2.18	-0.90
ott.	2.25	2.10	-6.66	2.21	2.14	-3.16	2.26	2.21	-2.21
80	1.86	1.77	-1.83	1.86	1.84	-1.07	1.86	1.84	-1.07
100		1.49			1.49			1.49	

Cd_t = peso-volume del secco calcolato con le formule (1) e (4)

Sd_t = » » » » sperimentale

$$\Delta d_t \% = \frac{Sd_t - Cd_t}{Cd_t} \times 100$$

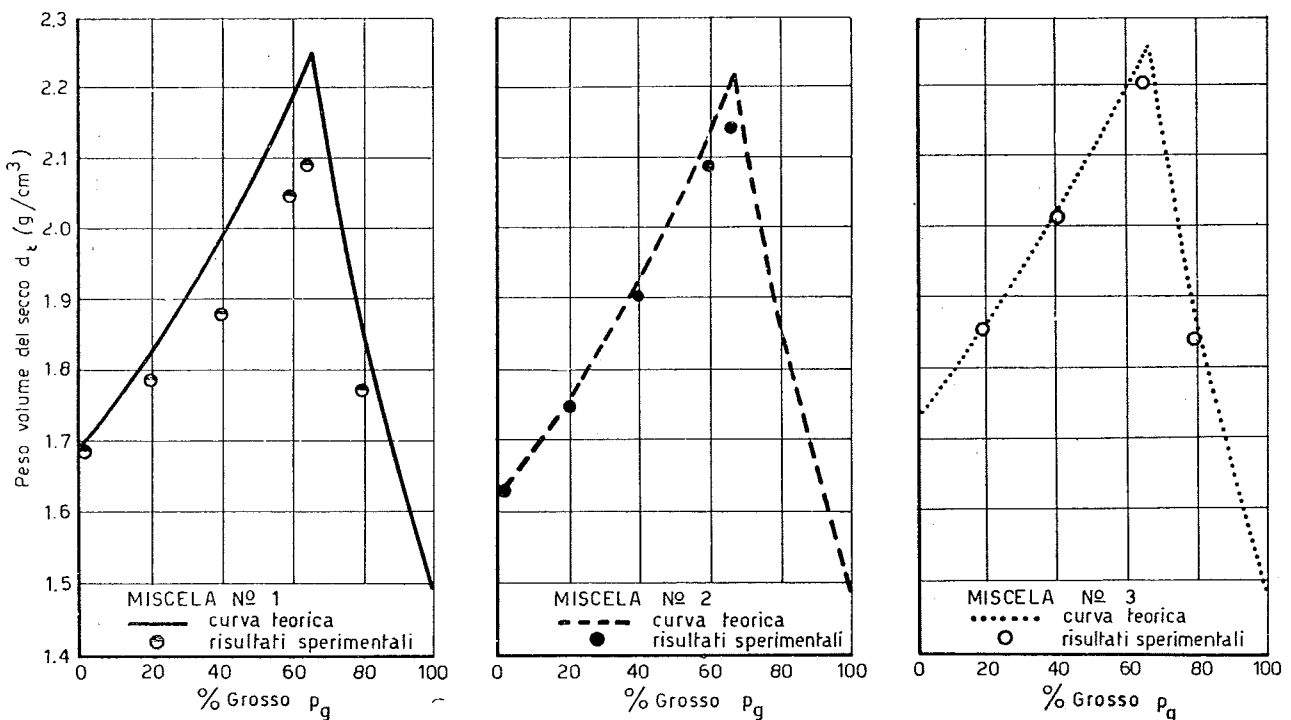


Fig. 2 - Andamento teorico della funzione d_t = f (p_s) per le miscele 1-33 e relativi punti sperimentali.

I risultati ottenuti sono riportati nella tabella n. 1, nella quale sono indicati anche i valori del peso-volume del secco calcolati con le formule.

In Fig. 2 è riportato l'andamento teorico e sperimentale del peso-volume del secco delle miscele al variare del contenuto di grosso.

In Fig. 3 è riportato, per ciascuna delle tre miscele, l'andamento dello scarto percentuale tra peso-volume del secco sperimentale e calcolato, riferito a quest'ultimo al variare della percentuale di grosso.

Si osserva che, come poteva prevedersi, per ciascuna delle miscele esaminate i pesi-volume del secco

del secco calcolati e sperimentali dal rapporto fra le dimensioni dei vuoti del grosso e le dimensioni dei grani del fino; inoltre mette in evidenza nei limiti di validità dell'estrapolazione effettuata che, comunque si riesca a ridurre il fattore d'influenza prima detto, il valore sperimentale del peso-volume massimo del secco della miscela risulta sempre più basso dell'analogo valore calcolato con le formule.

Vale a dire che le condizioni teoriche di massimo peso-volume del secco di una miscela nella realtà non si realizzano mai.

Probabilmente la distribuzione delle particelle co-

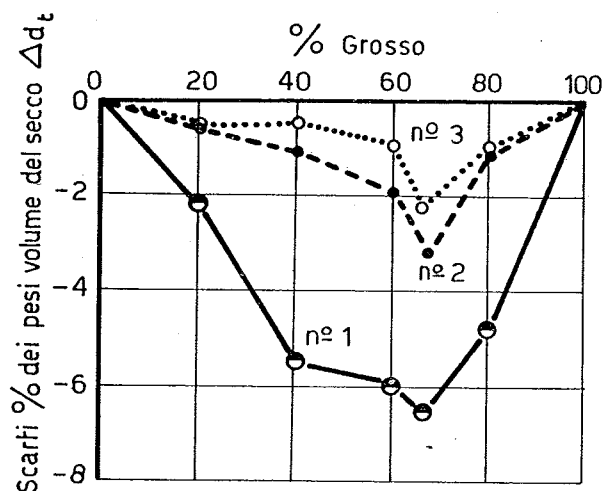


Fig. 3 - Scarti percentuali dei valori sperimentali dei pesi-volume del secco.

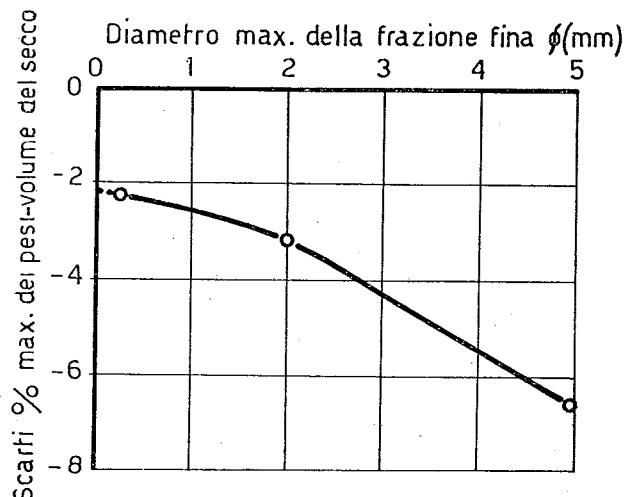


Fig. 4 - Scarti percentuali massimi dei pesi-volume del secco al variare delle dimensioni della frazione fina.

ottenuti sperimentalmente hanno sempre valori più bassi degli analoghi valori calcolati.

Come si rileva dalle figure 2 e 3, per ciascuna miscela l'entità dello scarto tra valore sperimentale ed analogo valore calcolato del peso-volume del secco è funzione della percentuale della frazione grossa; lo scarto massimo si ha in corrispondenza del massimo peso-volume del secco ottenibile con la miscela.

Dalla figura 3 si rileva ancora che, a parità di tutti gli altri fattori d'influenza, l'entità degli scarti dei pesi-volume del secco dipende dalle dimensioni del fino ed è funzione crescente di queste.

In definitiva, le curve delle figure 2 e 3, sia pure nei casi semplici esaminati, sembrano confermare la dipendenza dell'entità degli scarti, fra i pesi-volume del secco dedotti dalle formule e quelli sperimentali, dal rapporto fra le dimensioni dei vuoti del grosso e le dimensioni dei grani del fino.

La curva della Fig. 4 illustra l'andamento degli scarti massimi percentuali delle densità sperimentali e calcolate delle miscele in funzione del diametro massimo del fino, ϕ ; gli scarti risultano rapidamente crescenti all'aumentare di ϕ .

La curva, se estrapolata per ϕ tendente a zero, taglia l'asse delle ordinate in un punto diverso da zero.

La curva della Fig. 4 conferma quanto già osservato sulla dipendenza degli scarti fra i pesi-volume

stituenti la miscela non è mai tale che il grosso possa assumerne l'assestamento max. che si ottiene quando si opera su questa sola frazione presa isolatamente.

Ci sono sempre delle particelle della frazione fina che si frappongono fra i grani più grossi, nei punti di contatto.

Detto fenomeno può agire sui risultati della compattazione massima; sia aumentando l'entità dei vuoti della frazione grossa, sia rendendo impossibile la compattazione massima: sia aumentando l'entità dei vuoti secco tra i vuoti che risultano fra gli elementi grossi.

4 - Conclusioni

I controlli sperimentali effettuati confermano che le formule (1) e (4), nei relativi intervalli di validità, danno l'andamento del peso-volume del secco di una miscela in funzione della percentuale della frazione grossa.

I valori sperimentali del peso-volume del secco di una miscela risultano minori, o, al limite, eguali ai relativi valori calcolati. Ne segue che le curve, che si ottengono applicando le formule (1) e (4), sono rappresentative del limite al quale tende la corrispondente curva sperimentale, quando i fattori che influenzano gli scarti tendono ad annullarsi.

Nei casi semplici esaminati, il fattore d'influenza

più importante sugli scarti tra i valori calcolati del peso-volume del secco e quelli analoghi di laboratorio, ottenuti operando sull'intera miscela, sembra doversi individuare essenzialmente, a parità di energia di compattazione, nel rapporto fra le dimensioni dei vuoti della frazione grossa della miscela e le dimensioni del fino presente nella miscela stessa.

Bibliografia

- LI C. Y.: «Basic Concepts on the Compaction of Soil». Proceedings of The A.S.C.E., n. SM 1 paper 862 (1956).
- MADDISON L.: «Laboratory tests on the effect of stone content on the compaction of soil mortar»- Roads and Road Construction, feb. 1944.
- MAINFORT R. C. LAWTON W. L.: «Laboratory Compaction Tests for Coarse Graded Paving and Embankment Materials». U.S. C.A.A. Report n. 177 (1952).
- NICHOLS F. P. Jr e JAMES H. D.: «Suggested Compaction Standards for Crushed Aggregate Materials Based on Experimental Field Rolling» - H. R. B. Bulletin 325 (1962).
- G. POST - P. LONDE: «Les barrages en terre compactée». Guathier Villars - 1953.
- ROAD RESEARCH LABORATORY: «Soil Mechanics for Road Engineers». (9-25) - London Her Majesty's Stationery Office (1955).
- JOHNSON A. W. e SALLBERG J. R.: «Factor That Influence Field Compaction of Soils». H. R. B. Bulletin 272 (1960).
- U.S. Department of the Interior-Bureau of Reclamation. *Earth Manual*. Denver Colorado 1960.
- ZEIGLER E. J.: «Effect of Material Retained on the n. 4 Sieve on the Compaction Test of Soils». H. R. B. Proceedings 1948.

CONTRIBUT A LA RECHERCHE DE LA DENSITÉ POU- VANT ÊTRE OBTENUE AVEC LES MÉLANGES FIN- GROS

Sommaire: En tenant compte des considerations bien connues, on met en évidence, avec des formules simples, le délai de validité de la formule d'emploi courant pour remonter de la densité du fin jusqu'à celle totale d'un mélange fin-gros et l'allure du phénomène dans le champ de non validité de la formule d'emploi courant.

On expose les résultats des contrôles expérimentaux effectués sur l'influence de quelques facteurs d'écartements entre les densités calculées d'un mélange et les densités analogues obtenues expérimentalement.

CONTRIBUTION TO THE RESEARCH OF UNIT WEIGHT OBTAINED WITH FINE-COARSE AGGREGATE MI- XTURES

Summary: Considering well known researches, we show, with simple formulas, the interval of validity of the formulae in everyday use for going back from the unit weight of fine only to that totale of a fine coarse aggregate mixture and the proceeding of phenomenon when the formulae in everyday use are not valid.

We show the results of experimental controls done about influence of some differential factors between total calculated unit weights of a aggregate mixture and the analogous obtained experimentally.