

**COMPATTAZIONE, PORTANZA E MISCELAZIONE:
DALLE NORMATIVE AI PROCESSI DI STABILIZZAZIONE**

Roma, 30 aprile 2024

La normativa relativa alla compattazione e portanza

Geol. Stefano Cianci

- Segretario Nazionale A.L.G.I.

- Vicedirettore del laboratorio **geoplanning**
SERVIZI PER IL TERRITORIO

La compattazione



Fonte ISSMGE

Ralph Roscoe Proctor (1894-1962)

R. R. Proctor era un ingegnere civile americano.

Dopo aver completato gli studi in Ingegneria Civile presso l'Università degli Studi della California del Sud a Los Angeles (1914-1916) ed aver partecipato alla prima guerra mondiale principalmente costruendo ferrovie in Francia, lavorò sempre per l'Autorità idrica della California di Los Angeles (BWWS - Bureau of Water Works e Supply), per la progettazione, costruzione, e manutenzione di risorse idriche e di opere di fondazione geoidrauliche, in particolar modo per la costruzioni di dighe.

Ha svolto un ruolo chiave nella costruzione della diga di San Francis e fu coinvolto nell'indagine dopo il disastro.

Durante la costruzione della diga di Bouquet Canyon (1932-1934), sviluppò quella che oggi chiamiamo la “prova Proctor” finalizzata alla costruzione del nucleo della diga, garantendo sia la stabilità che la desiderata permeabilità del riempimento compattato.

Tra il 1930 ed il 1933 sviluppa il principio della compattazione in una serie di articoli pubblicati in “Engineering News-Record”.

Oltre alle dighe, i suoi studi sperimentali hanno contribuito a rivoluzionare la costruzione di autostrade, ferrovie e piste aeroportuali

La compattazione

TEORIA DELLA COMPATTAZIONE SUPERFICIALE

Per COMPATTAZIONE viene inteso l'incremento della densità del terreno attraverso la applicazione di ENERGIA MECCANICA

Proctor stabilisce che la compattazione è funzione di 4 variabili:

1. Densità secca
2. Contenuto d'acqua
3. Sforzo di compattazione
4. Tipo di terra (classe, granulometria, caratteristiche fisiche, ecc.)

Definisce anche l'energia necessaria a compattare un determinato volume di terreno in determinate condizioni di umidità definendola Energia di compattazione E $[F \cdot L / L^3]$

La compattazione

Le prime normative sono statunitensi (la prima è edita dall' A.A.S.H.O., diventata dopo breve tempo la più nota ed attualmente esistente A.A.S.H.T.O. - American Association of State Highway and Transportation Officials)

	Tipo di fustella	Dimensioni della fustella			Dimensioni e peso del pestello		n° strati	n° colpi per strato	Altezza di caduta del pestello in cm	Energia per unità di volume
		Diametro	Altezza	Volume	Diametro	Peso				
		cm	cm	cm ³	mm	N (kg)				
A.A.S.H.T.O. Standard (T-99-61)	A	10,16	11,66	943	50,8	24,476 (2,495)	3	25	30,48	59
	B	15,24	11,66	2125	50,8	24,476 (2,495)	3	56	30,48	59
A.A.S.H.T.O. Modificato (T-180-61)	A	10,16	11,66	943	50,8	44,498 (4,536)	5	25	45,72	269
	B	15,24	11,66	2125	50,8	44,498 (4,536)	5	56	45,42	269

$E = \text{Pesomaglio} \cdot H_{\text{caduta}} \cdot n \text{ colpi per strato} \cdot n \text{ strati} / \text{Volume fustella} \text{ [N*cm/cm}^3\text{]}$

1 kg = N/9,81

La compattazione

Altra normativa statunitense è edita dall' A.S.T.M. (non è stato possibile verificare l'anno della prima edizione)

	Tipo di fustella	Dimensioni della fustella			Dimensioni e peso del pestello		n° strati	n° colpi per strato	Altezza di caduta del pestello in cm	Energia per unità di volume
		Diametro	Altezza	Volume	Diametro	Peso				
		cm	cm	cm ³	mm	N (kg)				
A.S.T.M. Standard (D 698)	A	10,16	11,64	944	50,8	24,525 (2,5)	3	25	30,48	60
	B	15,24	11,64	2124	50,8	24,525 (2,5)	3	56	30,48	60
A.S.T.M. Modificato (D 1557)	A	10,16	11,64	944	50,8	44,437 (4,54)	5	25	45,72	270
	B	15,24	11,64	2124	50,8	44,537 (4,54)	5	56	45,42	270

L'ultima edizione è del 2021: non è mai cambiata nelle sue linee essenziali

La compattazione

La prima norma italiana è del 30/11/1978 edita dal C.N.R. (Bollettino Ufficiale, Anno XII, n° 69 – Norme Tecniche) e ricalca quasi fedelmente la norma edita dall’A.A.S.H.T.O.

	Tipo di fustella	Dimensioni della fustella			Dimensioni e peso del pestello		n° strati	n° colpi per strato	Altezza di caduta del pestello in cm	Energia per unità di volume
		Diametro	Altezza	Volume	Diametro	Peso				
		cm	cm	cm ³	mm	N (kg)				
C.N.R. B.U. A. XII n° 69 Standard	A	10,16	11,64	944	51	24,476 (2,495)	3	25	30,5	59
	B	15,24	11,64	2123	51	24,476 (2,495)	3	56	30,5	59
C.N.R. B.U. A. XII n° 69 Modificato	A	10,16	11,64	944	51	44,498 (4,536)	5	25	45,7	268
	B	15,24	11,64	2123	51	44,498 (4,536)	5	56	45,7	268

La compattazione

La norma italiana attualmente cogente è la UNI EN 13286-2 che ha introdotto interessanti (e probabilmente discutibili) variazioni.

	Tipo di fustella	Dimensioni della fustella			Dimensioni e peso del pestello		n° strati	n° colpi per strato	Altezza di caduta del pestello in cm	Energia per unità di volume
		Diametro	Altezza	Volume	Diametro	Peso				
		cm	cm	cm ³	mm	N (kg)				
UNI EN 13286-2 Standard	A	10,00	12,00	942	50	24,525 (2,500)	3	25	30,50	60
	B	15,00	12,00	2121	50	24,525 (2,500)	3	56	30,50	59
	C	25,00	20,00	9817	125	147,150 (15,000)	3	22	60,00	59
UNI EN 13286-2 Modificato	A	10,00	12,00	942	50	44,145 (4,500)	5	25	45,70	268
	B	15,00	12,00	2121	50	44,145 (4,500)	5	56	45,70	266
	C	25,00	20,00	9817	125	147,150 (15,000)	3	98	60,00	264

La compattazione

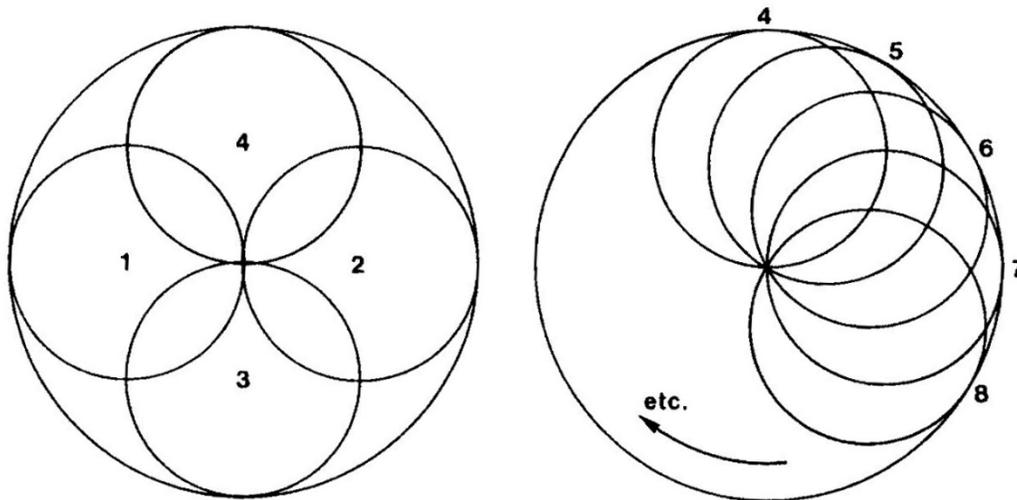
Una serie di studi ha definito accettabile una variazione dell'energia rispetto al teorico per un massimo del 5%. La variazione di energia può essere anche legata a spessori troppo elevati degli strati.

	A.A.S.H.T.O.	A.S.T.M.	CNR 1978	UNI EN 13286-2
Energia Proctor standard	59	60	59	59-60
Energia Proctor modificata	269	270	268	264-268

UNI EN 13286-2 Modificato	A	10,00	12,00	942	50	44,145 (4,500)	5	25	45,70	268	
	B	15,00	12,00	2121	50	44,145 (4,500)	5	56	45,70	266	➔ +5 di energia con 1 colpo in più
	C	25,00	20,00	9817	125	147,150 (15,000)	3	98	60,00	264	➔ +5 di energia con 2 colpi in più

La compattazione

L'utilizzo di una fustella piuttosto che un'altra è legato alla granulometria del materiale. Alcune modalità di compattazione non sono descritte in norma, ma sono previste dalla buona prassi di laboratorio



Fonte Head, 1980

UNI EN 13286-2

Passante ai setacci con luce 16 mm	Passante ai setacci con luce		Peso terreno	Fustella
	31,5 mm	63 mm		
100	--	--	15 kg	A
			40 kg	B
75<P<100	100	--	40 kg	B
<75	75<P<100	100	40 kg	B
--	<75	75<P<100	200 kg	C

A.S.T.M.
A.A.S.H.T.O.

Passante ai setacci con luce 4,75 mm	Passante ai setacci con luce		Peso terreno	Fustella
	9,5 mm	19 mm		
> 80	--	--	13 kg	A
< 80	> 80	--	13 kg	A
--	< 80	>70	30 kg	B

CNR 1978

Passante ai setacci con luce 5 mm	Passante ai setacci con luce		Peso terreno	Fustella
	25 mm	-- mm		
100	100	--	13 kg	A
< 100	--	--	30 kg	B

La compattazione

Rispetto al passato, la norma UNI EN 13286-2 si discosta dagli usuali valori di energia di costipamento, semplificando però le dimensioni delle attrezzature e delle "cadute". Propone, quindi, alternative.

prospetto A.1 **Esempi di alternative per stampo Proctor A**

Stampo		Pestello			Procedimento		Energia di costipamento MJ/m ³
Diametro mm	Altezza mm	Massa kg	Diametro mm	Altezza di caduta mm	Numero di strati	Numero di colpi per strato	
102	122,5	2,5	50	300	3	26	0,573 3
101,5	117	2,5	50	300	3	25	0,582 9
102	117	2,49	50	305	3	25	0,584 6
100	120	2,5	50	300	3	25	0,585 5
101,6	116,8	2,48	50,8	304,8	3	25	0,587 3
101,6	117	2,49	51	305	3	25	0,589 1
102,0 ± 0,4	122,4 ± 0,1	2,50 ± 0,01	50,0 ± 0,2	305 ± 2	3	26	Da 0,572 2 a 0,594 7
101,6 ± 0,2	116,4 ± 0,2	2,495 ± 0,005	51,0 ± 0,5	305	3	25	Da 0,588 8 a 0,597 9
101,5 ± 0,5	116,5 ± 0,5	2,490 0 ± 0,002 5	51 ± 1	305 ± 2	3	25	Da 0,580 0 a 0,605 8
101,2 ± 0,4	116,4 ± 0,5	2,50 ± 0,01	50,8 ± 0,1	305 ± 5	3	25	Da 0,575 4 a 0,614 1
105,0 ± 0,5	115,5 ± 1,0	2,500 ± 0,025	50,0 ± 0,5	300 ± 3	3	27	Da 0,573 5 a 0,619 1

La compattazione

Norma UNI EN 13286-2

Condivisibile

- Aggiorna la normativa italiana, però sulla base di quella europea che a sua volta deriva da altra normativa nazionale;
- Spiega nel dettaglio alcuni passaggi ed alcune procedure;
- Introduce nuove attrezzature;
- Considera non solo i terreni ma anche gli aggregati ed alcune miscele.

Meno condivisibile

- Spiega nel dettaglio alcuni passaggi ed alcune procedure;
- Introduce nuove attrezzature.

NON condivisibile

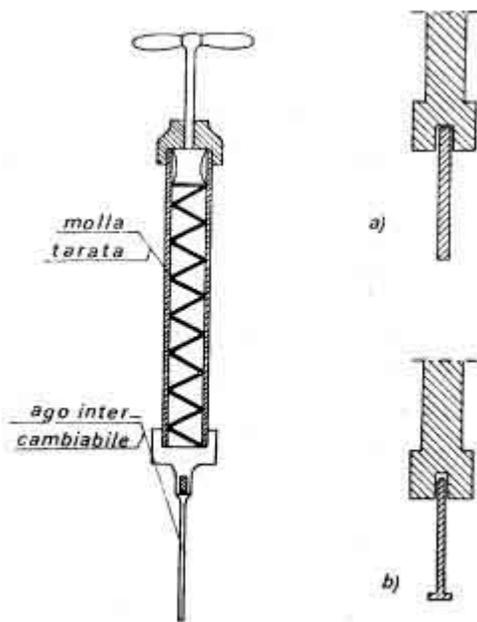
- Non segue esattamente i valori di energia di compattazione definiti dalle precedenti normative;
- Risulta di non immediata comprensione.

La portanza

C.B.R. è l'acronimo di California Bearing Ratio, traducibile come "rapporto di portanza California", dove con la parola California si indica un terreno di riferimento proprio della California.

La prova venne inizialmente sviluppata dalla A.A.S.H.O. (American Association of State Highway Officials), poi A.A.S.H.T.O., verso la fine degli anni '20 del secolo scorso.

Inizialmente era una prova di penetrazione eseguita in sito; venne successivamente riveduta sulla base degli studi con l'ago Proctor (sì, l'è lù): dall'ago Proctor viene poi sviluppato il pocket penetrometer.



Ago Proctor
Fonte webTiscali.it

Attraverso gli studi di R.R. Proctor, la prova venne rivista in modo da poter essere eseguita, su provini compattati con energia Proctor standard o modificata, direttamente in laboratorio.

La portanza

Durante la prova si misura la resistenza opposta da un materiale, usualmente compattato (o anche allo stato naturale, in sito), alla penetrazione di un cilindro metallico.

Sono definite dimensioni del provino, modalità di saturazione, velocità di penetrazione, modalità di acquisizione delle resistenze, valori di riferimento in relazione a determinate penetrazioni.

La resistenza ottenuta viene messa a rapporto (ratio) con quella di un terreno di riferimento (proprio della California).

Le normative principali sono 4, ma ne prenderemo in considerazione solo 3 (non ho mai consultato la norma A.A.S.H.T.O., il cui costo è di \$108,00 – se la tengono).

- A.A.S.H.T.O. T193

- A.S.T.M. D1883 (l'ultima versione è del 2021)

- CNR-UNI 10009 (non più cogente, sostituita dalla...)

- UNI EN 13286-47 (l'ultima versione è del 2022)

La portanza

Durante la prova si misura la resistenza opposta da un materiale, usualmente compattato (o anche allo stato naturale, in sito), alla penetrazione di un cilindro metallico.

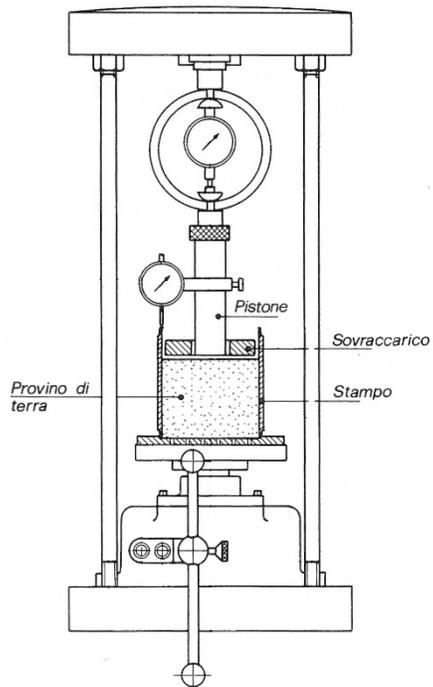
	Dimensioni della fustella			Dimensioni disco spaziatore			Pistone Diametro	Pesi Peso	mm prima deformazione	mm seconda deformazione	forza prima deformazione (kg)	forza seconda deformazione (kg)
	Diametro	Altezza	Volume	Diametro	Altezza	Volume						
	cm	cm	cm ³	cm	cm	cm ³	cm	kg				
A.S.T.M. D 1883	15,24	17,78	3243,33	15,08	6,137	1096,10	4,963	2 x 2,27	2,54	5,08	1361	2032
CNR-UNI 10009	15,24	17,78	3243,33	15,10	6,130	1097,75	4,960	1 x 4,54	2,50	5,00	1360	2041
UNI EN 13286-47	15,00	12,00	2120,58	15,00	10,00	1767,15	5,000	? x 0,10	2,50	5,00	1346	2039

Il tempo di saturazione del provino è di 96h per tutte le normative

La velocità di deformazione (ovvero: di penetrazione) è di 1,27 mm/min per tutte le normative

La portanza

Differenze si ritrovano anche nelle deformazioni in corrispondenza delle quali è necessario registrare la forza. In arancione ed in verde sono indicate la prima e la seconda deformazione: le forze qui misurate verranno poi messe a rapporto con i valori di riferimento.



A.S.T.M. D 1883	CNR-UNI 10009	UNI EN 13286-47
0,00	0,00	0,00
0,64	0,50	0,50
1,27	1,00	1,00
1,91	1,50	1,50
2,54	2,00	2,00
3,18	2,50	2,50
3,81	3,00	3,00
4,45	4,00	3,50
5,08	5,00	4,00
7,62	7,00	4,50
10,16	9,00	5,00
12,70		5,50
		6,00
		6,50
		7,00
		7,50
		8,00
		8,50
		9,00
		9,50
		10,00

La portanza

PECULIARITA':

- La norma A.S.T.M. richiama una ulteriore normativa per l'esecuzione di prove CBR in sito (A.S.T.M. D 4429). Descrive inoltre diversi grafici per studi specifici (es.: CBR di progetto).
- La norma CNR-UNI prevede la possibilità di definire il CBR di un terreno prelevato in sito con una apposita manovra (il punzonamento avviene in laboratorio).
- La norma UNI EN introduce il concetto di I.P.I. (Indice di Portanza Immediato), ovvero di una prova eseguita senza pesi di sovraccarico. In tal senso non rende obbligatorio un peso di sovraccarico definito, ma definisce che *"L'utilizzo del sovraccarico dipende dalle circostanze e deve essere specificato di conseguenza"*.

La portanza

Norma UNI EN 13286-47

Condivisibile

- Aggiorna la normativa italiana, però sulla base di quella europea che a sua volta deriva da altra normativa nazionale;
- Spiega nel dettaglio alcuni passaggi ed alcune procedure;
- Introduce l'I.P.I.;
- Considera non solo i terreni ma anche gli aggregati ed alcune miscele.

Meno condivisibile

- Spiega nel dettaglio alcuni passaggi ed alcune procedure;
- Non fa accenni a CBR in sito.

NON condivisibile

- Elimina la cosiddetta fustella CBR;
- Risulta di non immediata comprensione.

La normativa relativa alla compattazione e portanza

GRAZIE PER L'ATTENZIONE