



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI FERRARA  
Dipartimento di ingegneria  
Corso di «Opere inTerra» –A.A. 2018-2019

## LEZIONE N.7



Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento

Processo di progettazione e costruzione e collaudo di un'opera in terra con utilizzo di terra tal quale ed applicazione di energia meccanica

Acquisizione dei dati relativi al progetto dell'opera da realizzare

Acquisizione delle caratteristiche ambientali del sito in cui realizzare l'opera

Acquisizione dei caratteri geologici, geotecnici del sito e delle caratteristiche sismiche

Modellazione geotecnica del sito

Verifiche ed analisi preliminari tese ad individuare i requisiti tecnici attesi dall'opera in terra

Valutazione delle possibili tipologie di terre idonee alla costruzione dell'opera

Ricerca del materiale

Analisi di laboratorio geotecnico per la qualificazione dei materiali



Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento

Processo di progettazione e costruzione e collaudo di un'opera in terra con utilizzo di terra tal quale ed applicazione di energia meccanica

Valutazione delle quantità e delle qualità di terre disponibili

Progetto e definizione dei criteri di messa in opera

Progetto del campo prova

Acquisizione dei risultati e dei dati dal campo prova

Progetto del piano di controllo e monitoraggio in fase di costruzione

Pianificazione delle risoluzioni delle non conformità

Criteri di collaudo



## Costruzione opere in terra : RILEVATI STRADALI E FERROVIARI: IL PROGETTO

### PROGETTO DI UN TRACCIATO STRADALE E FERROVIARIO: MATERIALI

#### MATERIALI TRADIZIONALI – MATERIALI PRIMARI (TERRE)

- ➔ Materiali a grana grossa (sabbie) : per opere a resistenza e bassa deformabilità
- ➔ Materiali a grana fine (limi e argille): per opere a bassa permeabilità

**Tabella 1.1 Classificazione delle terre secondo la norma UNI-CNR 10006.**

Classificazione Generale	Terre ghiaio-sabbiose Frazione passante allo staccio 0,075 UNI 2332 $\leq$ 35%						Terre limo-argillose Frazione passante allo staccio 0,075 UNI 2332 $>$ 35%				Torbe e terre organiche palustri		
	A1		A3	A2			A4	A5	A6	A7		A8	
Gruppo	A 1-a	A 1-b		A 2-4	A 2-5	A 2-6	A 2-7				A 7-5	A 7-6	
Sottogruppo	A 1-a	A 1-b		A 2-4	A 2-5	A 2-6	A 2-7				A 7-5	A 7-6	
Analisi granulometrica													
Frazione passante allo Staccio													
2 UNI 2332 %	$\leq$ 50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,4 UNI 2332 %	$\leq$ 30	$\leq$ 50	$>$ 50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,075 UNI 2332 %	$\leq$ 15	$\leq$ 25	$\leq$ 10	$\leq$ 35	$\leq$ 35	$\leq$ 35	$\leq$ 35	$>$ 35	$>$ 35	$>$ 35	$>$ 35	$>$ 35	$>$ 35
Caratteristiche della frazione passante allo staccio 0,4 UNI 2332													
Limite liquido	-	-	$\leq$ 40	$>$ 40	$>$ 40	$\leq$ 40	$>$ 40	$\leq$ 40	$>$ 40	$\leq$ 40	$>$ 40	$>$ 40	$>$ 40
Indice di plasticità	$\leq$ 6	N.P.	$\leq$ 10	$\leq$ 10 max	$\leq$ 10	$>$ 10	$>$ 10	$\leq$ 10	$\leq$ 10	$>$ 10	$>$ 10	$>$ 10	$>$ 10
Indice di gruppo	0	0	0	0	$\leq$ 4	$\leq$ 4	$\leq$ 4	$\leq$ 8	$\leq$ 12	$\leq$ 16	$\leq$ 20	$\leq$ 20	$\leq$ 20



## Costruzione opere in terra : RILEVATI STRADALI E FERROVIARI: IL PROGETTO

### PROGETTO DI UN TRACCIATO STRADALE E FERROVIARIO: MATERIALI

#### MATERIALI RICICLATI – MATERIALI SECONDARI – CDW (Construction and Demolition Waste)

Materiali provenienti dall'industria delle costruzioni civili come argille, limi, fanghi

Residui di lavorazioni di calcestruzzi, mattini di laterizio, conglomerati bituminosi

Prodotti derivanti dalla combustione del carbone e processi industriali che si rifanno a tale materiale, ceneri provenienti dalla combustione dei rifiuti ecc.

Prodotti derivanti dalla produzione dell'acciaio

Settore in continua evoluzione - impianti di trattamento – trasformazione



## Costruzione opere in terra : RILEVATI STRADALI E FERROVIARI: IL PROGETTO

## PROGETTO DI UN TRACCIATO STRADALE E FERROVIARIO: MATERIALI

### MATERIALI RICICLATI – MATERIALI SECONDARI – CDW (Construction and Demolition Waste)





## Costruzione opere in terra : RILEVATI STRADALI E FERROVIARI: IL PROGETTO

### PROGETTO DI UN TRACCIATO STRADALE E FERROVIARIO: MATERIALI

#### MATERIALI RICICLATI – MATERIALI SECONDARI – CDW (Construction and Demolition Waste)





Costruzione opere in terra : RILEVATI STRADALI E FERROVIARI: IL PROGETTO

PROGETTO DI UN TRACCIATO STRADALE E FERROVIARIO: MATERIALI

**MATERIALI RICICLATI – MATERIALI SECONDARI – CDW (Construction and Demolition Waste)**

Settore in continua evoluzione - impianti di trattamento – trasformazione

FRANTUMAZIONE E VAGLIATURA

Impianti fissi

Impianti mobili

DEMOLIZIONE

Selettiva

Controllata

Inerti lapidei

Materiale metallico

Frazioni leggere



Costruzione opere in terra : RILEVATI STRADALI E FERROVIARI: IL PROGETTO

PROGETTO DI UN TRACCIATO STRADALE E FERROVIARIO: MATERIALI

MATERIALI RICICLATI – MATERIALI SECONDARI – CDW (Construction and Demolition Waste)



*Fig. 1.1 – frantoio semifisso: impianto di proprietà C.A.R.*



*Figura 1.2: Impianto mobile per il riciclaggio dei rifiuti da C&D.*



Costruzione opere in terra : RILEVATI STRADALI E FERROVIARI: IL PROGETTO

PROGETTO DI UN TRACCIATO STRADALE E FERROVIARIO: MATERIALI

**MATERIALI RICICLATI – MATERIALI SECONDARI – CDW (Construction and Demolition Waste)**



*Figura 1.3: Impianto fisso per il riciclaggio dei rifiuti da C&D.*



## Costruzione opere in terra : RILEVATI STRADALI E FERROVIARI: IL PROGETTO

### PROGETTO DI UN TRACCIATO STRADALE E FERROVIARIO: MATERIALI

#### MATERIALI RICICLATI – MATERIALI SECONDARI

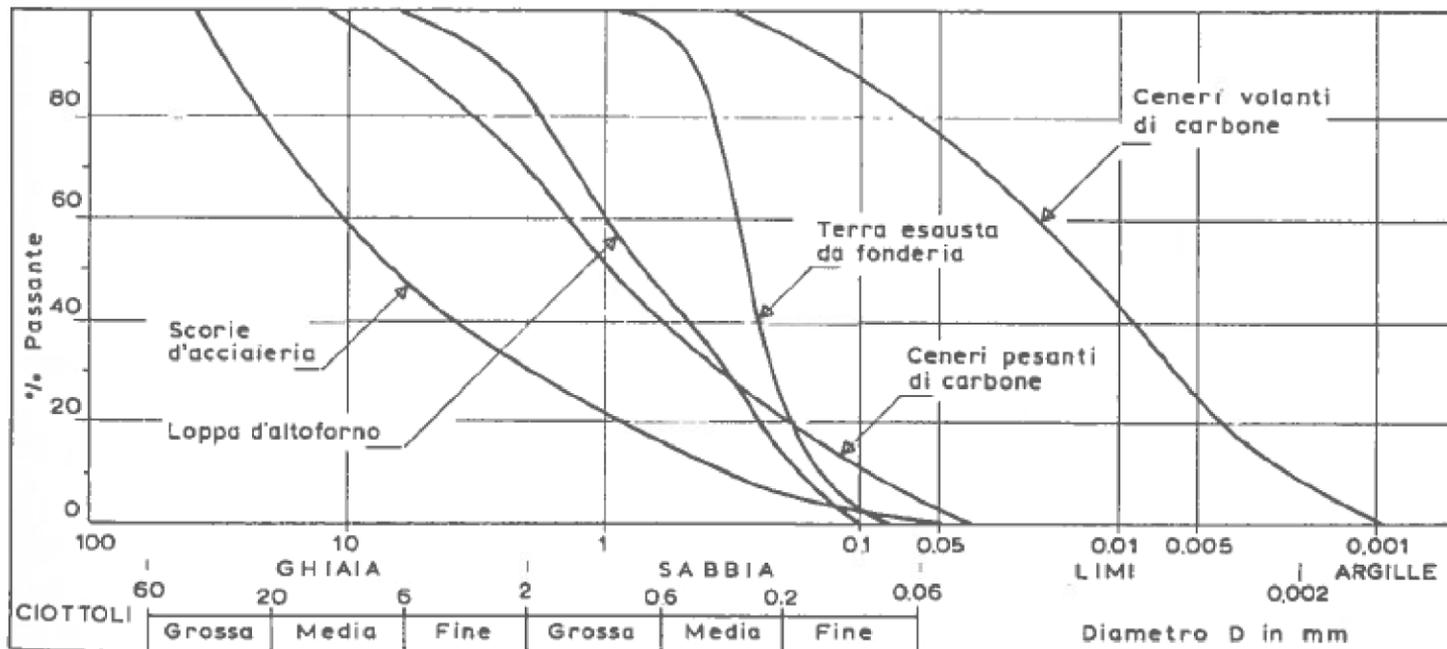
Materiale	Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Contenuto optimum d'acqua (%)	Angolo di resistenza al taglio ( $\phi'$ )	Coesione (kPa)	Permeabilità (m/s)
Ceneri di carbone (volanti e pesanti)	10 - 19	35 - 10	32° - 45°	50 - 0	10 <sup>-4</sup> - 10 <sup>-5</sup>
Ceneri da inceneritore (volanti e pesanti)	10 - 15	30 - 20	35° - 45°	50 - 0	10 <sup>-5</sup> - 3 10 <sup>-5</sup>
Loppa d'altoforno e scorie di acciaieria	15 - 26	5 - 7	40° - 45°	120 - 230	10 <sup>-4</sup> - 10 <sup>-5</sup>
Terra esausta da fonderia	18	10	40°	10	3 10 <sup>-6</sup>
Granulati provenienti da demolizione di calcestruzzi corretti	20 - 21	6 - 8	35°	/	/



## Costruzione opere in terra : RILEVATI STRADALI E FERROVIARI: IL PROGETTO

## PROGETTO DI UN TRACCIATO STRADALE E FERROVIARIO: MATERIALI

### MATERIALI RICICLATI – MATERIALI SECONDARI

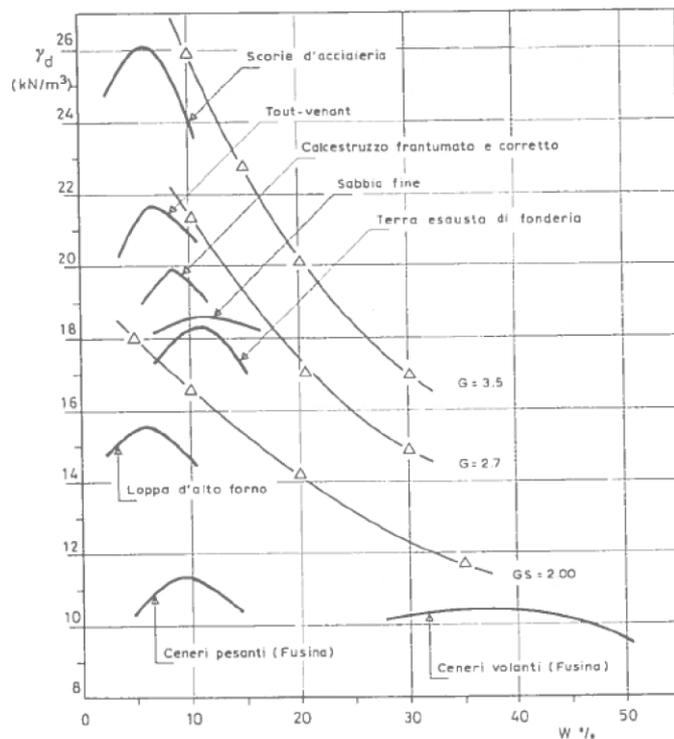




## Costruzione opere in terra : RILEVATI STRADALI E FERROVIARI: IL PROGETTO

### PROGETTO DI UN TRACCIATO STRADALE E FERROVIARIO: MATERIALI

#### MATERIALI RICICLATI – MATERIALI SECONDARI





## Costruzione opere in terra : RILEVATI STRADALI E FERROVIARI: IL PROGETTO

### PROGETTO DI UN TRACCIATO STRADALE E FERROVIARIO: MATERIALI

#### MATERIALI SPECIALI

In determinate circostanze, quando il terreno di sottofondo è particolarmente molle e compressibile si possono utilizzare materiali leggeri per la formazione dei rilevati

Tali materiali devono assolutamente garantire risultati analoghi a quelli forniti dai materiali tradizionali. E' importante, in questi casi, il controllo e l'analisi degli effetti dell'ambiente su tali prodotti, variazioni di temperatura, attacchi chimici e biologici, vibrazioni.



## Costruzione opere in terra : RILEVATI STRADALI E FERROVIARI: IL PROGETTO

### PROGETTO DI UN TRACCIATO STRADALE E FERROVIARIO: MATERIALI

#### MATERIALI SPECIALI

Materiale	Peso specifico dei grani (Gs)	Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Parametri meccanici caratteristici
Sabbie tufacee	25	8 - 12	$\phi' = 35^\circ - 45^\circ$
Legno e fibre vegetali	/	9 - 10	$\phi' = 25^\circ - 0^\circ$
Polistirolo	/	0.15 - 0.30	Resistenza alla compressione ( $e = 10\%$ ) 60 - 200 kPa
Calcestruzzo espanso	/	4 - 14	Resistenza alla compressione 1.5 - 3.5 MPa
Argilla espansa	/	6 - 8	$\phi' = 30^\circ - 35^\circ$



Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento  
Costruzione dei rilevati con materiale leggero: argilla espansa





## Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento Costruzione dei rilevati con materiale leggero: argilla espansa

### Vantaggi

Riduzione dei cedimenti, assoluti e differenziali del rilevato.

Semplicità ed rapidità applicativa con i normali mezzi di cantiere

Incremento del coefficiente di sicurezza allo stato limite ultimo del rilevato

Possibilità di intervento anche in contesti complessi dal punto di vista tecnico-logistico

### Tipologie

I rilevati leggeri in argilla espansa Leca possono essere:

**senza compensazione**, se si sfrutta unicamente l'effetto benefico generato dal minor peso specifico del materiale per ridurre il carico distribuito sul terreno molle sottostante.

**compensati**, se si sostituisce parte del terreno di fondazione avente scarsa portanza con argilla espansa in modo da migliorarne le caratteristiche meccaniche e compensare, in parte o completamente, il sovraccarico dovuto al nuovo rilevato.

### Addensamento

L'addensamento di un rilevato alleggerito in argilla espansa si può ottenere con diverse modalità a seconda della soluzione tecnica prescelta:

A seguito della posa di uno strato di ripartizione dei carichi:

Posa di strato di ripartizione dei carichi (tipo...) e passaggio con rullo compressore;

Interposizione di una geogriglia e passaggio con rullo compressore;

Direttamente sullo strato di argilla espansa:

Con piastra vibrante;

Tramite passaggio di un mezzo cingolato (scavatore/pala)

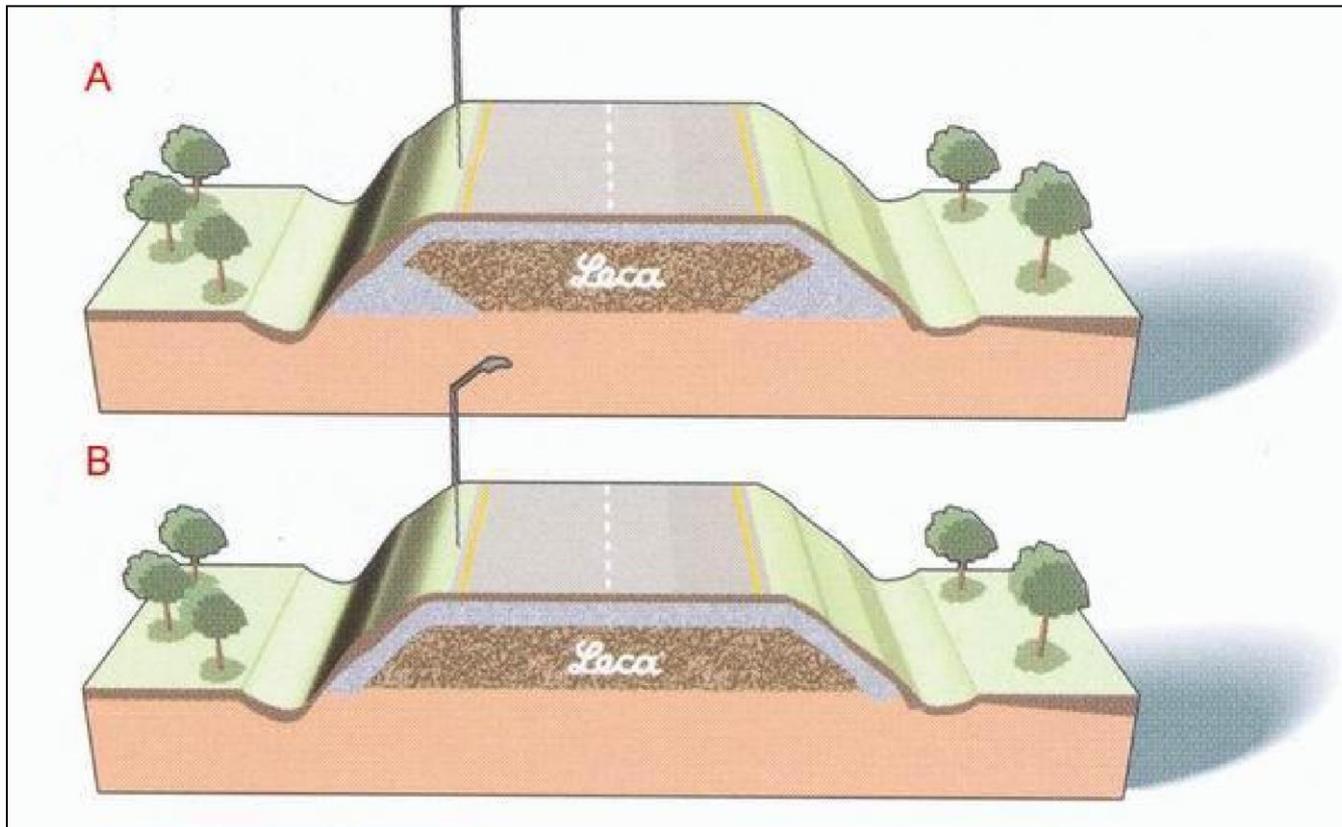


Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento  
Costruzione dei rilevati con materiale leggero: argilla espansa





Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento  
Costruzione dei rilevati con materiale leggero: argilla espansa





## Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento Costruzione dei rilevati con materiale leggero: argilla espansa



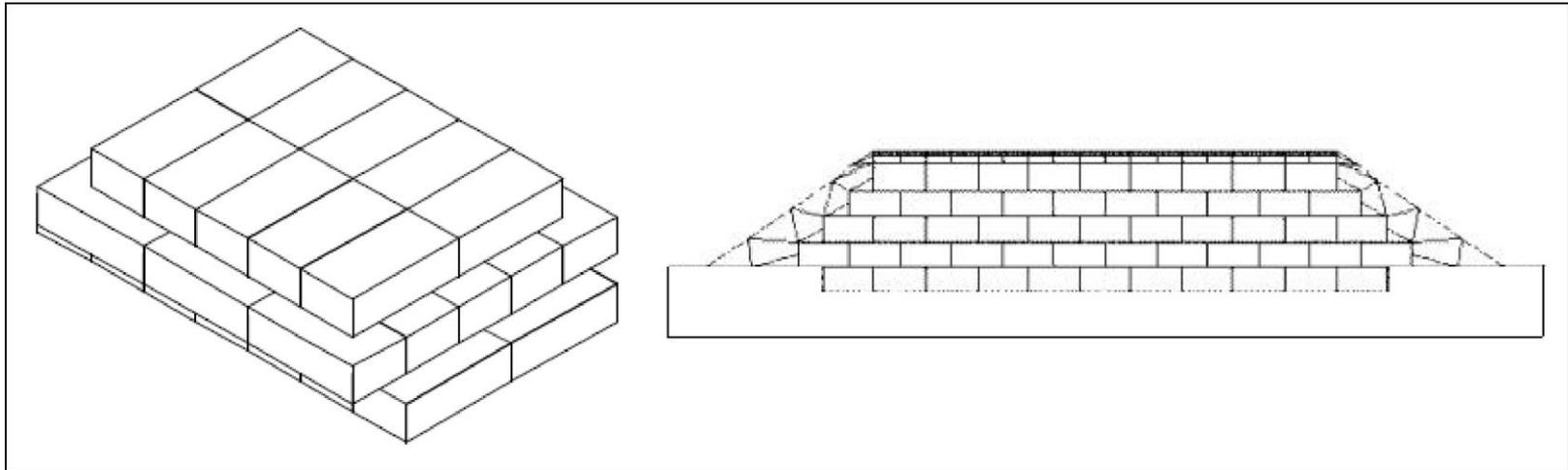
### FASI DI MESSA IN OPERA

- sbancamento iniziale;
- posa tessuto-non tessuto;
- posa del primo strato di argilla espansa;
- posa tessuto-non tessuto;
- posa dello strato di misto granulare di interposizione;
- compattazione mediante rullaggio;
- esecuzione di prove di carico su piastra di controllo;
- posa dei successivi pacchetti standard, fino al raggiungimento dell'altezza di progetto del rilevato.

Al termine della realizzazione di ogni pacchetto standard vengono inoltre eseguite una serie di prove di carico su piastra di controllo prima di procedere alla posa del pacchetto stradale



Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento  
Costruzione dei rilevati con materiale leggero: EPS (Polistirene espanso sinterizzato)



**Figura 1 – Disposizione dei blocchi di EPS in un rilevato stradale.**



Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento  
Costruzione dei rilevati con materiale leggero: EPS



**Figura 2 – Montaggio dei blocchi.**



**Figura 3 – Rivestimento in terra delle scarpate.**



Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento  
Costruzione dei rilevati con materiale leggero: EPS

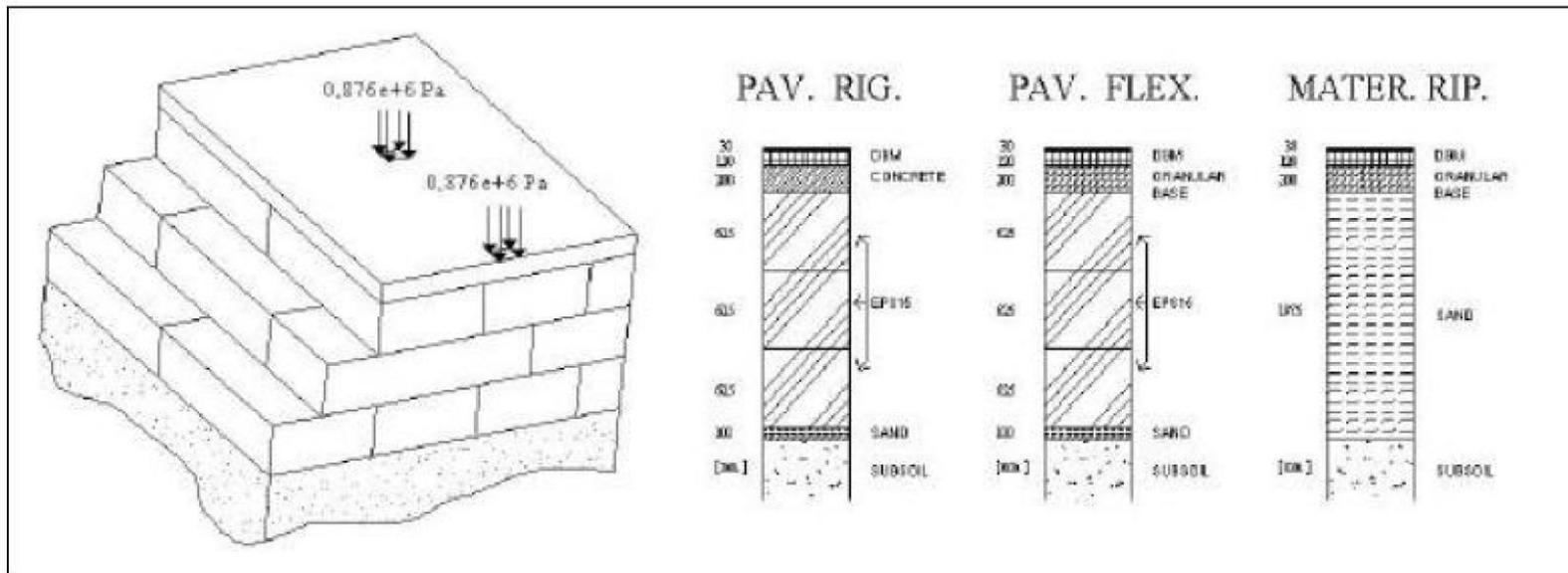
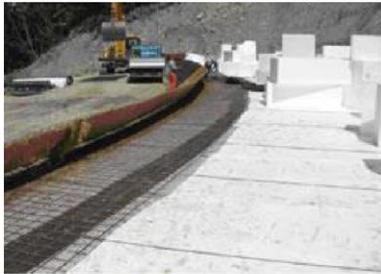


Figura 4 – Schema del rilevato in EPS e tipologie di sovrastruttura studiate.



## Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento Costruzione dei rilevati con materiale leggero: EPS



Polimero leggero e insieme resistente; ottimo isolante termico e acustico che trova le sue principali applicazioni in edilizia e nell'imballaggio, ma anche nell'ingegneria civile come alleggerimento di rilevati stradali, per il ripristino della viabilità ordinaria in seguito a calamità e per la realizzazione di viabilità d'emergenza.

Gli elementi modulari in EPS presentano un'estrema leggerezza e una straordinaria facilità di movimentazione. Il materiale consente di limitare i cedimenti dovuti al consolidamento del terreno di fondazione, di ridurre gli spostamenti di terra e l'area di ingombro del rilevato. Elimina la possibilità di formazione del ghiaccio sulla superficie e facilita la posa in opera offrendo un'elevata adattabilità alle forme che il terreno richiede.

Dal punto di vista ambientale l'utilizzo di materiale di riempimento tradizionale, reperito da cave e trasportato con ingente dispendio di tempo, energia e costi, provoca spesso il deturpamento della zona da cui si ricava. Scegliere l'EPS significa evitare il traffico di grandi veicoli, il prelievo di materiale naturale e il danneggiamento delle aree di prelievo.



## Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento Costruzione dei rilevati con materiale leggero: EPS

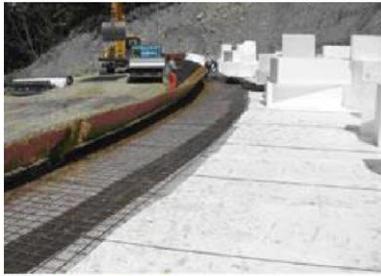


In opera i blocchi di EPS, posti su più strati, vengono collegati interponendo tra questi appositi tasselli dentati in metallo (gripper) che permettono la trasmissione delle tensioni tra loro e ne favoriscono il fissaggio durante le operazioni di cantiere.

Un rilevato in EPS richiede generalmente la realizzazione di una sovrastruttura stradale di tipo rigido, dove ad uno strato superficiale in conglomerato bituminoso segue una lastra in calcestruzzo quale elemento di ripartizione dei carichi veicolari e come fondazione delle barriere di sicurezza o di altri elementi verticali della piattaforma stradale.



## Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento Costruzione dei rilevati con materiale leggero: EPS



La norma europea EN 14933 del 2007 specifica i requisiti per i prodotti in EPS ottenuti in fabbrica e utilizzati per l'isolamento termico e come alleggerimento in applicazioni di ingegneria civile. Lo standard pone particolare attenzione al comportamento meccanico a lunga durata (scorrimento viscoso a compressione – creep –, resistenza al carico dinamico, ecc..). E' prevista una suddivisione dei prodotti in EPS a "classi aperte", analoga a quella prevista nella UNI EN 13163 (Prodotti per l'isolamento termico per l'edilizia in EPS), in base allo sforzo di compressione al 10% di deformazione e alla resistenza a flessione (ciascun tipo deve soddisfare le due condizioni contemporaneamente). Di grande importanza è la presenza dell'allegato ZA che specifica i requisiti e le condizioni per la marcatura CE con sistema di attestazione della conformità 3.



## Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento Costruzione dei rilevati con opere di alleggrimento





Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento  
Costruzione dei rilevati con materiale leggero: argilla espansa





Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento

Teoria della compattazione: PROGETTO

PROGETTO OPERA DA  
REALIZZARE

PROVE DI LABORATORIO

CLASSIFICAZIONE TERRE

COMPATTAZIONE TERRE

RESISTENZA E DEFORMABILITA' CAMPIONE

PERMEABILITA' CAMPIONE



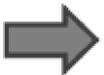
Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento  
Teoria della compattazione

## METODI DI COMPATTAZIONE CONVENZIONALI

IN BASE AL PREVALERE DI UNO DEI DUE TIPI DI AZIONI TRASMESSE



1. COMPATTATORI PREVALENTEMENTE STATICI



2. COMPATTATORI PREVALENTEMENTE DINAMICI

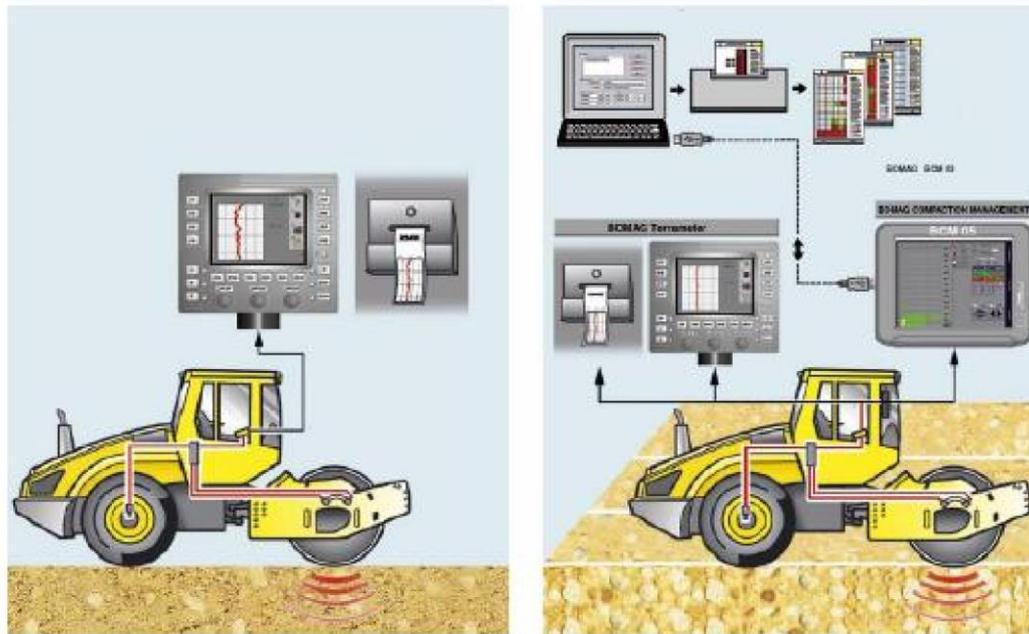
TERRENI GRANULARI

TERRENI FINI



Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento

## METODI DI COMPATTAZIONE INTELLIGENTI (CCC)





## Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento





Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento





## Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento





Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento



**AMMAN**



**HAMM**



**WEBER**

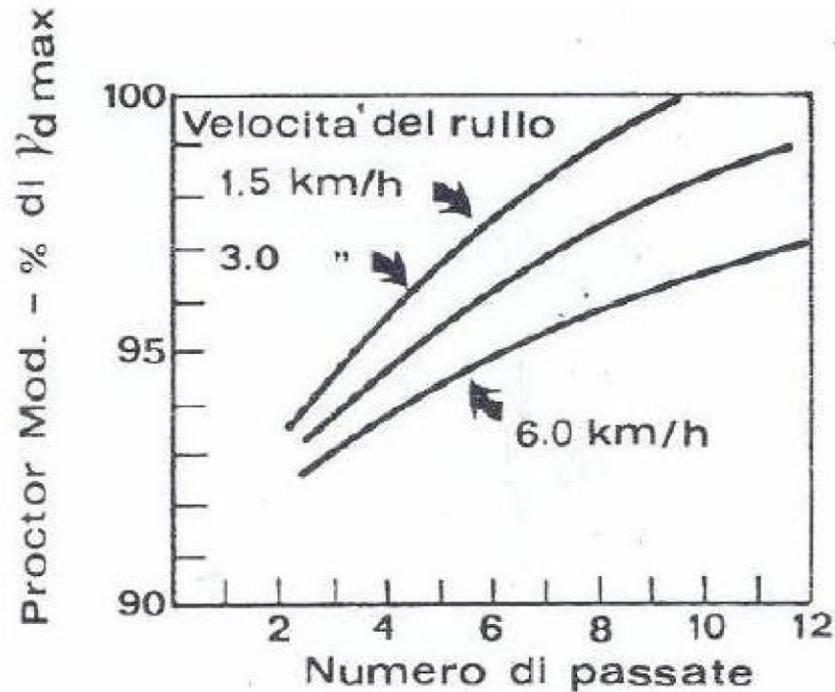


Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento

Teoria della compattazione

## TECNOLOGIA DELLA COMPATTAZIONE

VELOCITA' E NUMERO DI PASSATE DEI RULLI COMPATTATORI





Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento

Teoria della compattazione

## TECNOLOGIA DELLA COMPATTAZIONE

### Formazione di rilevati per strati compattati

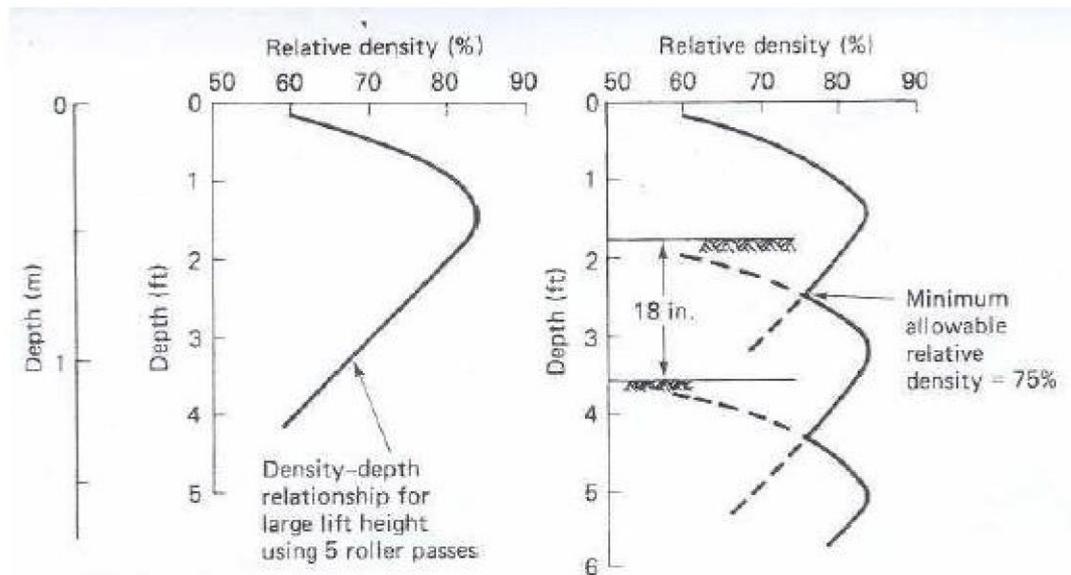


Fig. Ex. 5.2 Approximate method for determining lift height required to achieve a minimum compacted relative density of 75% with five roller passes, using data for a large lift height (after D'Appolonia, et al., 1969).



Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento

Processo di progettazione e costruzione e collaudo di un'opera in terra con utilizzo di terra tal quale ed applicazione di energia meccanica: prove in sito - collaudo

Classificazione: granulometria meccanica – plasticità della parte fine ( in lab. sedimentazione)

Umidità in opera – Metodo carburo di calcio

Addensamento raggiunto: Prova di densità in sito

Consistenza raggiunta: Prove di carico con piastra



Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento

Determinazione speditiva dell'umidità

La prova speditiva dell'umidità della terra in fase di esecuzione può essere condotta con un sistema ampiamente collaudato sia per le terre che per il calcestruzzo fresco, aggregati ecc... E' il metodo del «carburo di calcio» ( $\text{CaC}_2$ ).

Il campione di materiale da verificare viene raccolto, pesato e, quindi, introdotto all'interno di un contenitore in cui è presente il carburo di calcio contenuto nel reagente. L'acqua contenuta nel campione reagisce con il  $\text{CaC}_2$  producendo un gas (acetilene) che determina un aumento della pressione all'interno del contenitore. L'aumento di pressione è direttamente proporzionale alla quantità di acqua contenuta nel campione. La misura è condotta con un manometro e visualizzata come percentuale di umidità presente nel campione..

Norme: (BS812, ASTM D4944, AASHTO T217, UNI 7804).





## Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento

### Determinazione della densità in sito

Per verificare se la compattazione raggiunta in cantiere corrisponde a quella progettata in laboratorio, si effettuano delle prove che indicano il grado di compattazione del terreno compattato. I valori registrati con queste prove sono confrontati la densità massima secca ottenuta in laboratorio con il metodo Proctor. Il controllo della densità in sito con l'uso di sabbia può essere effettuato sia su terre fini che ghiaiose.

Per questo tipo di prova si utilizza una sabbia calibrata, di densità nota, monogranulare, perfettamente asciutta.

La prova prevede il riempimento di un foro di controllo con sabbia calibrata, la cui densità viene determinata utilizzando un cilindro di volume noto, all'incirca pari a quello del foro di prova.

Per ottenere risultati significativi è necessario preparare il foro nel rilevato con forma e dimensioni molto vicine a quelle del cilindro di taratura.

Sistemata la piastra circolare in modo che aderisca bene sul terreno, si scava il foro con opportuni attrezzi (mazzuola e scalpello) partendo dal bordo evitando di interessare il terreno al suo esterno. Procedendo con lo scavo si raccoglie il materiale smosso sistemandolo in un contenitore tarato, sigillandolo ogni volta per evitare di perdere umidità.

Il boccione contenente la sabbia, precedentemente pesato, completo del cono si posiziona con precisione sul foro della piastra, si apre la valvola e, quando il flusso di sabbia si arresta si chiude la valvola.

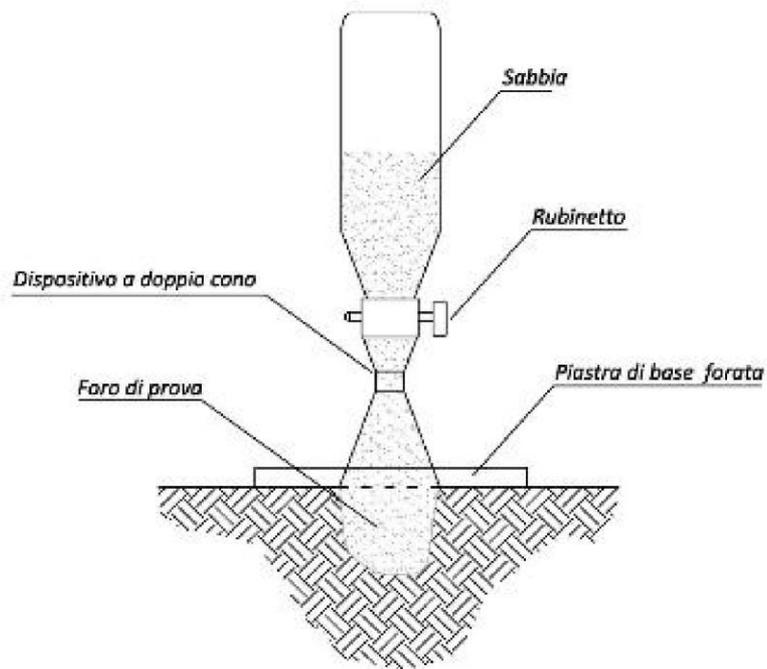
Dalle successive pesate della sabbia residua e del materiale estratto (umido e secco), e con calcoli molto semplici, si ottengono sia il peso di volume del terreno in condizioni di umidità naturale che il peso di volume secco. NORMA CNR BU22/72 e ASTM D 1556-90 (Standard Test Method for Density and Unit Weight of soil in Place by Sand-Cone Method).



## Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento

### Determinazione della densità in sito

VOLUMOMETRO A SABBIA





## Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento

### Determinazione della densità in sito

 <p>TECNOBOL S.p.A. INGEGNERIA E RICERCA DI INGENNERIA GEOTECNICA</p> <p>TECNOBOL s.p.a. di Pievevicino E. &amp; C. Via Fontevicchio, 4 - 05110 EPSO, TUSCANO (PS) tel.051457023 - email:tecno@tecno.it</p> <p>Dato di permesso autorizzativo n. 822/04 del 15/02/04 per opere geotecniche di attuazione degli interventi di cui al D.P.R. 34/02</p>	Verbo di costituzione n. 0016/08 del 20/11/2008 Ril. M. 007 <b>CERTIFICATO N. 0018</b> fog. 1 di 1 data di emissione 10/02/10		
<b>PROVA DI DENSITA' IN SITO</b> <i>Metodo sabbia calibrata</i>			
COMMITTENTE: SPEA S.p.A.	CODICE PROVA: D1 - PZ-UM4		
OPERA: (A1) MENA VIABILITÀ UGNANO- MANTOVANO			
LOCALITÀ: FIRENZE			
POZZETTO: PZ-UM4	DATA: 21/01/10	PROFONDITÀ: 0,80	GEOLOGO: Cavallucci S.
NORMATIVE E SPECIFICHE DI RIFERIMENTO:	ASTM D 1556-90-Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by the		
VOLUMOMETRO TIPO:	PASi Mod S234 Ord. M 1069 da 6"		
VOLUME DEL CONO:	1046 cm <sup>3</sup>		
CERTIFICATI DI RIFERIMENTO ALLEGATI:	Misura della densità naturale delle sabbie calibrate  Peso umido del campione di terreno e contenuto naturale d'acqua		
DESCRIZIONE VISIVA DEL TERRENO:	Limo argilloso sabbioso		
<b>DATI DELLA PROVA</b>			
DENSITA' DELLA SABBIA CALIBRATA:	1,419	gr/cm <sup>3</sup>	
PESO CAMPIONE DI TERRENO:	3225,00	gr	
VOLUME CAVITÀ DI PROVA:	1765,84	cm <sup>3</sup>	
CONTENUTO NATURALE D'ACQUA:	21,20	%	
<b>RISULTATI</b>			
DENSITA' UMIDA IN SITO:	1,83	gr/cm <sup>3</sup>	
DENSITA' SECCA IN SITO:	1,51	gr/cm <sup>3</sup>	
NOTE:			



Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento

Determinazione della portanza: prove di carico con piastra

La prova consiste nel sottoporre un terreno, sottostante una piastra rigida circolare, ad una serie di carichi crescenti, misurando i relativi cedimenti.

La prova viene eseguita su di una superficie ben livellata di terreno sia a piano campagna sia al fondo di scavi e trincee, su rilevati o anche in fori di sondaggio di grande diametro o in cunicoli esplorativi e gallerie.

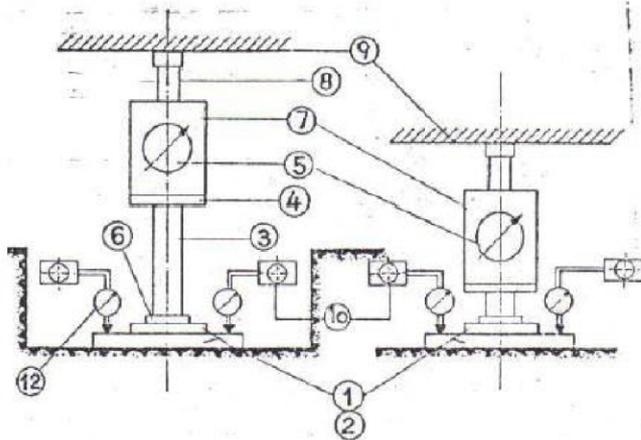
In questa sede vengono considerate le prove su piastra tradizionali eseguite sui terreni, si trascurano le prove su piastra profonde in foro e quelle su piastra ad elica (screw plate).



Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento

Determinazione della portanza: prove di carico con piastra

*ATTREZZATURA (per prove superficiali o a fondo scavo)*



- |                         |   |
|-------------------------|---|
| 1 – 2 piastra di carico | 5 manometro (o cella di carico)           |
| 3 – 8 colonna di carico | 7 martinetto idraulico                    |
| 4 – 6 contro piastra    | 9 contrasto (zavorra)                     |
|                         | 10 bracci di sospensione micrometri       |
|                         | 12 micrometri per la misura dei cedimenti |

La prova è standardizzata ASTM (D1196-93 e D1195-93).

E' compresa nell'Eurocodice ENV-1997-2-2007.

E' normata dalla EN ISO 22476-13.

Per le fondazioni di pavimentazioni è diffusa anche la prova rapida secondo la norma Svizzera SNV 670 317-a, nonché la norma CNR - UNI (A. I. N. 9 - 1967).



Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento  
Determinazione della portanza: prove di carico con piastra



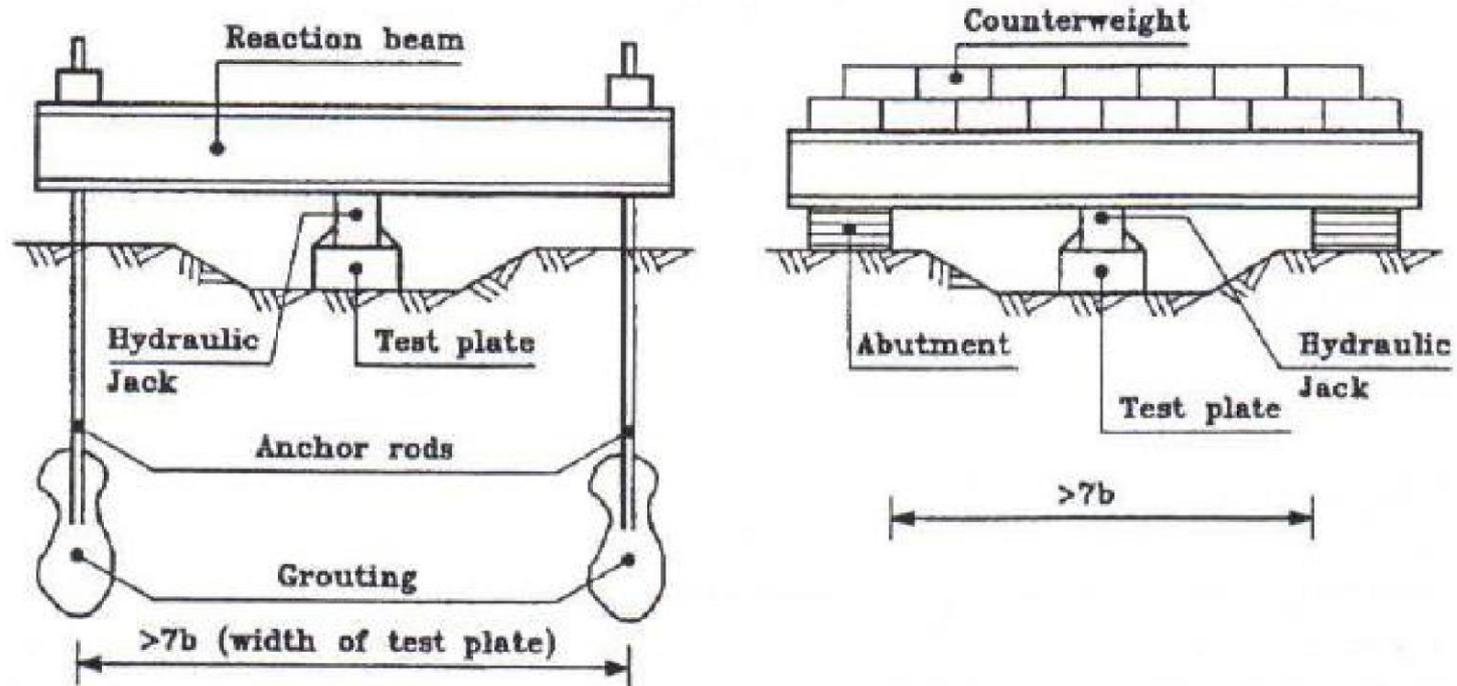


Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento  
Determinazione della portanza: prove di carico con piastra





Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento  
Determinazione della portanza: prove di carico con piastra





## Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento

### Determinazione della portanza: prove di carico con piastra

Il diametro della piastra deve essere almeno 5, ma preferibilmente 10 volte, la dimensione massima di clasti o inclusi presenti nel terreno in prova (Eurocodice).

La piastra deve essere rigida, il fondo liscio e perfettamente piano; il carico deve essere centrato ed il contatto fra il pistone che trasmette il carico ed il centro della piastra devono avere forma semisferica per la centratura del carico.

La misura dei cedimenti è realizzata con comparatori centesimali - uno centrale per la piastra da 300 mm, 3 a 120° lungo il bordo per prove con piastra di diametro maggiore.

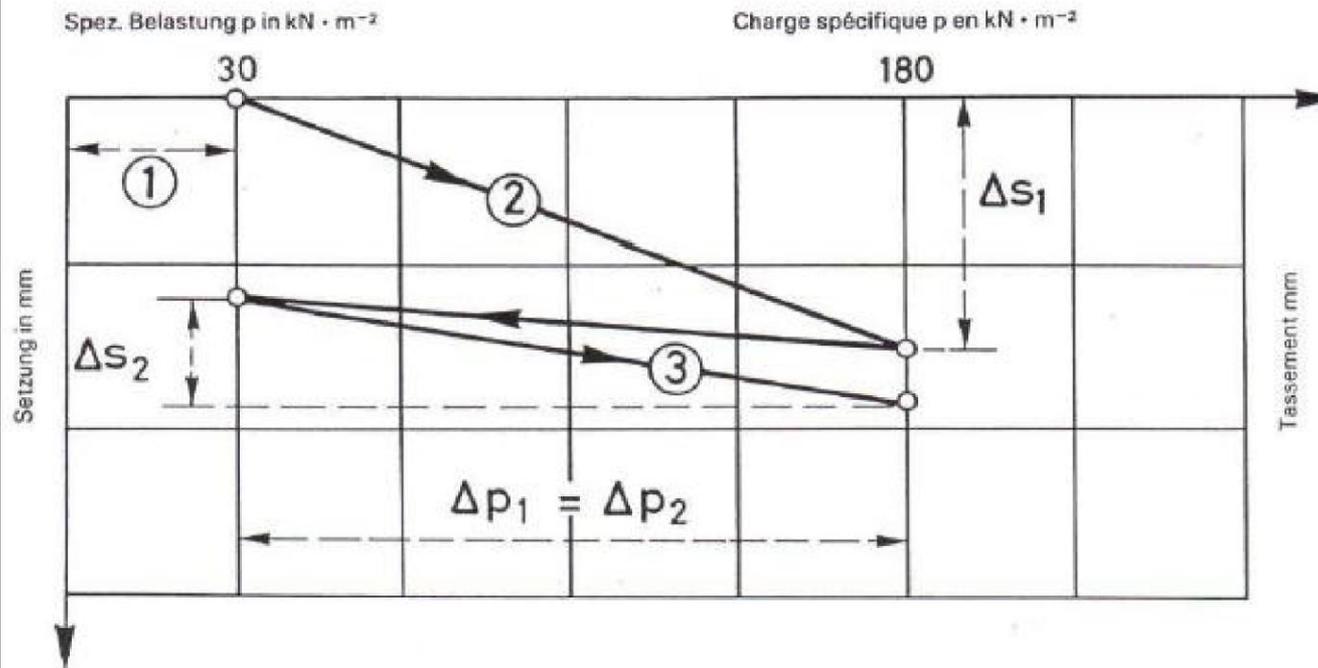
Si sta diffondendo l'impiego di trasduttori di spostamento elettrici, in sostituzione dei comparatori centesimali.



Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento

Determinazione della portanza: prove di carico con piastra

Grafico di prova su piastra (Norma Svizzera SNV 670317)





Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento

Determinazione della portanza: prove di carico con piastra

Dai dati, per ciascun intervallo di carico ed eventualmente per i cicli di scarico-ricarico, si calcola:

MODULO DI DEFORMAZIONE ( $M_E$ ) nell'ipotesi di piastra circolare infinitamente rigida (\*)

$$M_E = D (Dp/Ds) \quad \text{kN/m}^2$$

*D = diametro della piastra (m)*

*Dp = intervallo di carico ( kN/m<sup>2</sup>)*

*Ds = cedimento corrispondente ( m)*

*(\*) Il modulo  $M_E$  viene spesso indicato anche con il simbolo  $M_d$*



Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento

Determinazione della portanza: prove di carico con piastra

Esempio:

- *gradino di carico*  $Dp = 1 \text{ kg/cm}^2$  (100 kN/m<sup>2</sup>)
- *cedimento*  $Ds = 3 \text{ mm}$  (0.003 m),
- *diametro piastra*  $D=300 \text{ mm}$  (0.3 m),

$$M_E = D (Dp/Ds) = 0.3(100 / 0.003) = 10000 \text{ kN/m}^2 = 10 \text{ MN/m}^2 = 10 \text{ MPa}$$

Un valore minimo di  $M_E$  viene richiesto nei capitolati per strade, ferrovie e rilevati.

Il dato ottenuto dalla prova viene in questi casi utilizzato direttamente per verificare se la consistenza di uno strato di fondazione è adeguata.

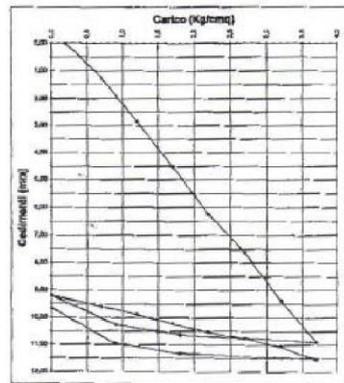


# Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento

## Determinazione della portanza: prove di carico con piastra

Riferimento P.A.T. - SERVIZIO OPERE STRADALI      Prova N.: 1 - P.K. 1000  
Località: CADERZONE-STREMO      Profondità prova: FONDAZIONE  
Progetto: VARIANTE CADERZONE - STREMO SULLA S.S. 239 DI CAMPIGLIO

Proiezione verticale (kg/cm²)	Cedimenti sui 3 comparati (0,01 mm)			
	Comp. 1	Comp. 2	Comp. 3	Media (mm)
0,2	0	0	0	0,00
0,7	108	120	141	1,23
1,2	242	291	324	2,86
1,7	390	456	509	4,52
2,2	660	624	690	6,24
2,7	694	759	837	7,62
3,2	660	923	1032	9,39
3,7	882	1074	1212	10,89
1,8	987	1050	1182	10,69
0,9	923	1013	1146	10,27
0,0	813	919	1030	9,21
0,7	858	948	1076	9,81
1,2	890	979	1110	9,90
1,7	919	1010	1143	10,24
2,2	949	1040	1176	10,55
2,7	966	1062	1205	10,77
3,2	990	1091	1242	11,08
3,7	1029	1135	1300	11,65
1,8	1007	1113	1273	11,31
0,9	975	1078	1236	10,97
0,0	649	969	1083	9,67



Diametro piastra D (mm) = 500

Strato analizzato: FONDAZIONE

Modulo svizzero  $Md = \Delta P \times D / \Delta S$  (mm)

	Soil.	Fondaz.	Bato
$Md1/Md2 =$	0,19	0,17	0,24

TEMPO DEL GIORNO DI PROVA:   
 TEMPO DEL VENTILAZIONE:   
 TEMPERATURA DEL GIORNO DI PROVA:   
 MATERIALE:

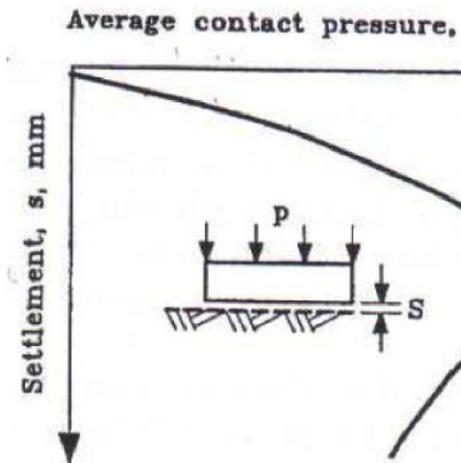
1° CICLO (kg/cm²)		2° CICLO (kg/cm²)	
182,0	Sottofondo (0,5-1,5)	947,4	Sottofondo (0,5-1,5)
183,1	Fondazione (1,5-2,5)	1125,0	Fondazione (1,5-2,5)
185,5	Base (2,5-3,5)	775,0	Base (2,5-3,5)



## Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento Determinazione della portanza: prove di carico con piastra

### UTILIZZO DEI RISULTATI

Relazione tra pressione di contatto e cedi piastra in argille tenere e sabbie dense (Euro)



### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA AL TAGLIO

#### Resistenza al taglio non drenata ( $C_u$ )

Quando il carico applicato porta il terreno a rottura si può calcolare la pressione limite di rottura e da questa la resistenza al taglio non drenata:

$$C_u = (P_u - z \cdot \gamma) / N_c \quad (1)$$

$P_u$  = pressione limite a rottura

$z$  = profondità dal piano di campagna

$\gamma$  = peso di volume del materiale sovrastante

$N_c$  = fattore di capacità portante:

$N_c = 6$  per prove sul terreno di superficie

$N_c = 9$  per prove in foro a profondità maggiore di 4 diametri della piastra



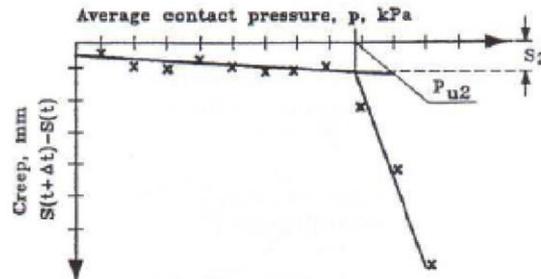
## Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento Determinazione della portanza: prove di carico con piastra

### Resistenza al taglio non drenata ( $C_u$ ) (Eurocodice)

Il valore della pressione  $P_u$  è ricavabile dalla Figura precedente.

In alternativa può essere calcolato dalla curva di “creep” di cui un esempio è riportato nella figura che segue.

Per convenzione si assume inoltre come valore di  $P_u$  la pressione alla quale il cedimento è pari al 15 % del diametro (o del lato) della piastra.



Esempio di curva di “creep” con possibilità di valutare il valore di  $P_u$ .



## Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento

### Determinazione della portanza: prove di carico con piastra

#### Modulo EPLT (modulo secante) (EN 1997-2-2007 Anx K)

Per prove in superficie o in scavi ove il fondo scavo è maggiore di 5 volte il diametro (o il lato) della piastra, il modulo EPLT può essere calcolato dall'equazione:

$$EPLT = \frac{\Delta p}{\Delta s} \cdot \frac{\pi b}{4} \cdot (1 - \nu^2)$$

dove:

$\Delta p$  = intervallo di pressione considerato

$\Delta s$  = cedimento corrispondente all'intervallo  $\Delta p$

$b$  = diametro della piastra

$\nu$  = coefficiente di Poisson relativo alle condizioni della prova

Se non determinato, il valore di  $\nu$  può essere assunto pari a:

*0,5 per i terreni coesivi in condizioni non drenate*

*0,3 per i terreni granulari*



## Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento Determinazione della portanza: prove di carico con piastra

### PIASTRA DINAMICA

#### Campo di Applicazione:

- Costruzione di strade, terrapieni, ferrovie e aeroporti
- Lavori interrati
- Controllo di stabilità di sponde e banchine
- Controllo di compattazione di piazzali e pavimentazioni industriali

#### Normativa:

La piastra dinamica è conforme alle norme CEI vigenti, ZTVE-st B94/04, ZTVE-stB95, ZTVE-stB97, NGT39.

**ASTM E2835 - 2011**





Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento

Determinazione della portanza: prove di carico con piastra

### Vantaggi:

- Valutazione immediata dei risultati (2/3min)
- Peso contenuto
- Facilità di manipolazione e utilizzo
- Risparmio di tempo
- Non richiede contrasti

### Esecuzione della Prova:

- La prova viene effettuata su terreni aventi granulometria grossa o mixata, con dimensione massima dell'inerte di 63mm.
- La massa battente (10kg) viene lasciata cadere a gravità da una determinata altezza generando una forza d'urto.
- Dopo 3 colpi sulla piastra di carico, la piastra subisce un assestamento dovuto alla forza d'urto. L'accelerazione e la velocità vengono valutate elettronicamente, determinando il **modulo dinamico di deformazione (Evd)** espresso in  $\text{MN/m}^2$ .



Costruzione opere in terra tal quale con azione meccanica per il consolidamento

Determinazione della portanza: prove di carico con piastra

