

GEOTECNICA

SOLUZIONI LEGGERE
CON ARGILLA
ESPANSA LECA

Leca
soluzioni leggere e isolanti

La nostra storia

L'origine dell'argilla espansa in **Italia** si deve ad un gruppo di imprenditori che **nei primi anni sessanta** decise di portare nel nostro territorio la tecnologia di produzione Leca, già diffusa in Scandinavia per le sue caratteristiche adatte a una crescente cultura di isolamento termico delle costruzioni.

Dopo alcuni anni impiegati nella ricerca del giacimento di argilla naturale adatta alla produzione del Leca e nella costruzione degli impianti produttivi, nella **primavera del 1966 la prima "pallina" italiana vedeva la luce a Rubbiano di Solignano (PR) ancora oggi il principale sito produttivo di Laterlite.**

In oltre **55 anni di vita l'argilla espansa** da ottimo prodotto per alleggerimenti e isolamenti in applicazioni sfuse e in sacco si è evoluta grazie a nuove tecnologie produttive e importanti investimenti in ricerca e sviluppo: oltre **25 anni fa sono nati i primi prodotti premiscelati in sacco** per sottofondi, massetti, calcestruzzi, malte e intonaci oggi sviluppati nell'ampia gamma Leca in grado di coprire numerosi campi di applicazione sia nelle **nuove costruzioni** che nelle **ristrutturazioni**.

Leca non solo come prodotto ma anche come **sistemi integrati e certificati** per l'isolamento termico, acustico e il consolidamento dei solai grazie ad attività di ricerca sperimentale in **partnership con i più importanti atenei italiani** quali il Politecnico di Milano, l'Eucentre di Pavia, l'Università di Trieste e l'Università di Bergamo.

Il Leca non solo come materiale da costruzione ma un **aggregato leggero di origine naturale versatile per innumerevoli applicazioni**: l'argilla espansa per applicazioni nel settore del verde quali paesaggismo, fitodepurazione, coltura idroponica e vivaismo con specifici prodotti: AgriLeca, LecaGreen e IdroLeca.

Nel **2012** un'altra tappa fondamentale nel percorso di crescita e sviluppo delle soluzioni leggeri e isolanti per ristrutturare: nasce la gamma di prodotti **CentroStorico**, i premiscelati di "seconda generazione" per calcestruzzi leggeri, massetti, sottofondi e livelline pensati per ristrutturare con sistemi ad alto valore tecnico, nel massimo rispetto degli edifici e del comfort di chi li abita.

Grande attenzione alla sostenibilità degli interventi e dei materiali impiegati: il recupero di un vecchio edificio, o di una sua parte, è la scelta più sostenibile da studiare e realizzare nel pieno rispetto delle strutture esistenti.

Dal **1 Gennaio 2022** Laterlite opera, in Italia e all'estero, con **una sola Società e 4 divisioni** corrispondenti ai propri brand **Leca, Gras Calce, LecaSistemi e Ruregold**, ciascuno leader nei propri segmenti di mercato, che proseguiranno insieme nel loro percorso di innovazione, crescita e sviluppo sostenibile con un'offerta sempre più completa e integrata per il mondo dell'edilizia e delle infrastrutture.

Laterlite testimonia la volontà di ampliare e rafforzare la propria offerta di soluzioni tecniche al servizio dell'edilizia, confermando la propria vocazione di **partner a 360° nei progetti sostenibili di costruzione e ristrutturazione**.

Argilla espansa Leca: tutto in una pallina.



L'argilla espansa e lo sviluppo sostenibile

Da sempre impegnata nella ricerca e valorizzazione delle soluzioni leggere e isolanti per l'edilizia, Laterlite fonda i criteri dello sviluppo sostenibile su **tre pilastri fondamentali: il rispetto dell'ambiente, degli aspetti sociali ed economici.**

Le prestazioni di **isolamento termoacustico** delle costruzioni e di qualità dell'aria nelle abitazioni sono obiettivi primari per la salute e il **comfort degli utilizzatori**, che in Europa trascorrono circa il 90% del tempo negli edifici.

L'importanza della **crescita sostenibile** è testimoniata dai numeri: oltre il 50% dei materiali estratti in natura sono trasformati in materiali da costruzione e nella Comunità Europea più del 40% dell'energia è consumata dagli edifici.

È quindi estremamente importante un **approccio orientato al ciclo di vita dell'edificio**, basato sull'analisi di tutti gli aspetti costitutivi del processo: dalla produzione e trasporto dei materiali da costruzione all'efficienza energetica complessiva, dal mantenimento nel tempo delle prestazioni e caratteristiche dei prodotti alla fase finale di demolizione e smaltimento.

Laterlite supporta l'industria delle costruzioni con il contributo offerto da un **aggregato isolante, leggero, riusabile e versatile per numerose applicazioni: l'argilla espansa Leca.**

La **sostenibilità del processo produttivo** è uno degli obiettivi principali di Laterlite: la sostituzione dei combustibili fossili non rinnovabili con **combustibili di riciclo** non più rigenerabili (impianti di Rubbiano e Lentella) contribuiscono alla riduzione delle emissioni di CO₂ nel sistema complessivo.

La produzione del Leca negli stabilimenti Laterlite avviene con l'impiego delle **migliori tecnologie disponibili**, supportata dalla continua ricerca e miglioramento dell'efficienza energetica, anche grazie a continui investimenti di importanti risorse per garantire un processo di miglioramento continuo delle prestazioni ambientali.

Altro **importante intervento di innovazione energetica e sostenibilità ambientale riguarda il nuovo impianto di recupero termico nello stabilimento di Rubbiano**, in grado di recuperare fino all'83% del calore proveniente dall'impianto stesso da reimmettere nel ciclo produttivo permettendo così di contenere il consumo di metano con una riduzione delle emissioni in atmosfera.

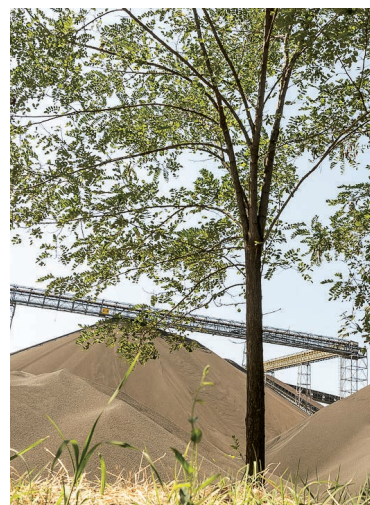
Un concreto esempio di riciclo con importanti benefici ambientali.

È stato avviato un percorso di investimenti per l'installazione di impianti fotovoltaici: nel 2023 il 25% dell'energia utilizzata da Laterlite sarà prodotta da fonti rinnovabili, con l'importante obiettivo di raggiungere il 70% nel 2024-2025.

Lo stabilimento di Trezzo sull'Adda è dotato di un **impianto fotovoltaico** capace di produrre ca. 600.000 kWh/anno, equivalenti a ca. il **40% dell'energia elettrica necessaria al funzionamento dello stabilimento** grazie a ca. 4.000 m² di pannelli solari.

Laterlite ha avviato da anni un percorso di **riduzione dei consumi energetici** nei propri impianti produttivi di Trezzo sull'Adda (MI) e Rubbiano di Fornovo (PR) con l'obiettivo di un utilizzo efficiente dell'energia elettrica: gli impianti produttivi sono dotati di **illuminazione a LED**, in sostituzione di quelli tradizionali contribuendo alla riduzione dei consumi elettrici.

La sostenibilità di prodotto vede al centro la **materia recuperata o riciclata**, al fine di ridurre lo sfruttamento di risorse naturali da estrazione.



La certificazione EPD

Al termine di un'importante percorso di certificazione da parte dell'ente terzo qualificato EPD Italy (ICMQ), l'**argilla espansa Leca ha ottenuto la rilevante Dichiarazione Ambientale di Prodotto** (EPD, Environmental Product Declaration).

L'importanza del documento è testimoniata da alcuni metodi di certificazione della sostenibilità, fra tutti **LEEDv4** e **BREEAM**, che nel settore delle costruzioni incoraggiano l'impiego dell'EPD per dimostrare il reale livello di compatibilità ambientale dei prodotti impiegati.

Il valore tecnico dell'**EPD** consiste nel dimostrare il profilo ambientale del Leca attraverso indicatori quantitativi, il più rappresentativo dei quali è il **GWP** (Global Warming Potential).



Un prodotto sostenibile, fin dalla produzione

Il Leca

Resistente

Possiede ottime caratteristiche di rigidità e resistenza.

Isolante termico, anche conforme ai CAM

Contribuisce al miglioramento delle prestazioni energetiche globali dell'edificio assicurando un eccellente comfort termico. È anche conforme ai CAM (Criteri Ambientali Minimi perché rispetta i criteri indicati al punto 2.4.2.9 del DM 11.10.2017) e non è soggetto a obblighi specifici di contenuto di materiali riciclati e/o recuperati in quanto non contiene alcun componente elencato.

Isolante acustico

La struttura cellulare e porosa collabora alla produzione di manufatti isolanti.

Leggero

Assicura ridotti pesi in opera ottimizzando i trasporti e le movimentazioni. Ideale nelle ristrutturazioni.

Resistente al fuoco

Incombustibile, per la migliore difesa dal fuoco.

Durabile, riutilizzabile e riciclabile

Non si degrada sotto l'azione chimica o sottoposto al gelo, è 100% riusabile/riciclabile e mantiene inalterate le caratteristiche nel tempo.

Naturale

Prodotto con argilla naturale, non contiene sostanze nocive né materiali organici, ed è certificato anche per la Bioedilizia.

La produzione

Estrazione ed espansione

Utilizzo efficiente delle risorse naturali: da 1 m³ di argilla a oltre 5 m³ di argilla espansa.

Produzione

Leca è prodotto impiegando le migliori tecnologie disponibili (BAT - Best Available Technology), per la migliore efficienza nell'intero processo.

Certificazione ambientale europea

I principali stabilimenti di produzione (Parma e Lentella) hanno ottenuto la certificazione UNI EN ISO 14001.

Combustibili alternativi e Biomasse

Il loro impiego, in sostituzione di quelli fossili, riduce il consumo delle fonti non rinnovabili e le emissioni globali di CO₂.

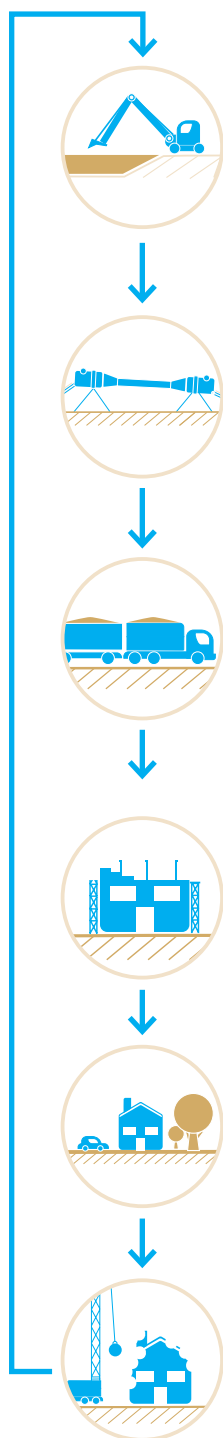
Rinnovabile: fotovoltaico

Con la realizzazione di due distinti impianti, Laterlite produce energia elettrica da quella solare riducendo il proprio fabbisogno primario e le emissioni globali di CO₂.

Emissioni

Nessuna emissione in suolo, nessuna emissione in acqua e, grazie al costante impegno nell'impiego dei più efficienti processi produttivi, si assicurano bassi livelli di emissione in atmosfera.

Il processo produttivo



ESTRAZIONE DELLA MATERIA PRIMA

- Argilla presente in natura in abbondanza, estratta in prossimità degli impianti industriali.
- Attenta e responsabile gestione delle cave, in armonia con l'ambiente circostante: piani di coltivazione, rispetto dell'origine morfologica della montagna, rinverdimenti e piantumazioni con essenze autoctone.

PRODUZIONE

- Da 1 m³ di argilla si producono sino a 5 m³ di argilla espansa.
- Produzione efficiente, grazie alle migliori tecnologie disponibili (BAT).
- Sostituzione dei combustibili fossili non rinnovabili con altri alternativi non più rigenerabili o biomasse.
- Nessuna produzione di rifiuti.

DISTRIBUZIONE

- Modalità di consegna in cantiere efficiente e diversificata in funzione delle applicazioni e delle esigenze specifiche (sacco, sfuso).
- La leggerezza del Leca e dei prodotti premiscelati in argilla espansa si traduce in una significativa riduzione nella movimentazione e nei trasporti dei materiali, con minori impatti sulle emissioni di CO₂.

COSTRUZIONE

- L'argilla espansa è un aggregato dai molteplici impieghi: è durabile, possiede un lungo ciclo di vita e non richiede manutenzione.
- La leggerezza del materiale fornisce sicurezza e facilità d'impiego durante le movimentazioni e le fasi di messa in opera.

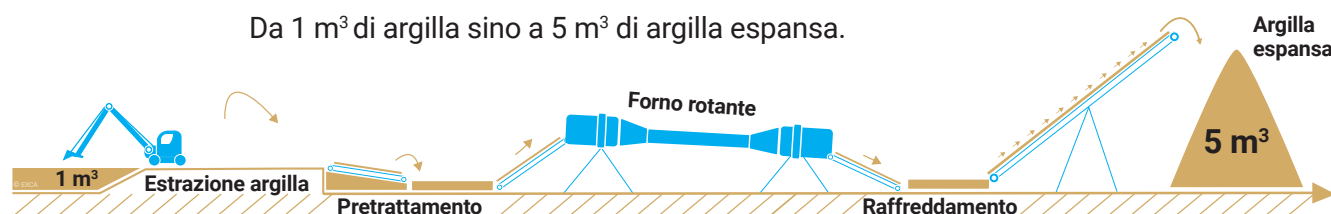
UTILIZZO

- Negli edifici l'argilla espansa offre benessere abitativo, assicurando comfort termico e protezione al fuoco, migliorandone anche l'efficienza energetica.
- Per impieghi in infrastrutture e nel settore del verde garantisce drenabilità evitando carichi sui terreni a scarsa portanza e sulle costruzioni esistenti.

DISMISSIONE E RIUSO

Alla fine del ciclo di vita, quando l'edificio o l'infrastruttura viene demolita, l'argilla espansa può essere riciclata o riusata mantenendo inalterate le proprie caratteristiche e prestazioni.

Da 1 m³ di argilla sino a 5 m³ di argilla espansa.





Indice

1. L'argilla espansa per le opere geotecniche e infrastrutturali	8
1.1 Introduzione	8
1.2 Cosa è l'argilla espansa	9
2. Argilla espansa: caratteristiche e proprietà	11
2.1 Granulometria	12
2.2 Densità	13
2.3 Il rapporto con l'acqua	14
2.4 Resistenza a compressione triassiale	15
2.5 Deformazioni viscosi	15
2.6 Resistenza al taglio	16
2.7 Deformazione residua per carichi di compressione ciclica	17
3. Applicazioni e soluzioni	19
3.1 Rilevati leggeri con argilla espansa Leca	20
3.1.1 Rilevati su terreni cedevoli	24
3.1.2 Rampe di allineamento ad opere d'arte	25
3.1.3 Rilevati su pendio potenzialmente instabile	26
3.1.4 Rilevati o terrapieni su strutture interrato	27
3.1.5 Ampliamento di rilevati esistenti	27
3.2 Fondazioni compensate	28
3.3 Strutture di contenimento e opere di sostegno	30
3.4 Gallerie	32
3.4.1 Gallerie paramassi	32
3.4.2 Riempimenti a tergo di conci nello scavo meccanizzato	34
3.5 Riempimento di cavità sotterranee	35
3.5.1 Cavity Filling (Uretek + Leca)	35
3.6 Allettamento delle tubazioni	36
3.7 Tumulazione di serbatoi	36
3.8 Trincee drenanti	37
3.9 Sistemi di protezione passiva/vie di fuga	37
3.10 Altre applicazioni	38
3.10.1 Argilla espansa Leca Cementata	38
3.10.2 Calcestruzzi leggeri strutturali e non strutturali	38
3.10.3 Barriere fonoassorbenti	40
3.10.4 Pavimentazioni stradali	40
4. Modalità costruttive dei rilevati leggeri	42
4.1 Rilevati in sola argilla espansa	42
4.2 Rilevati in argilla espansa e misto granulare	43
4.3 Tecniche di contenimento laterale e posa in opera	44
4.4 Compattazione e controlli di qualità	45
5. Modalità di consegna	46
5.1 Leca sfusa	46
5.2 Leca pompata sfusa	46
5.3 Leca in big bag o sacchi	46

Seguici su:



LecaLaterlite



lecalaterlite



LaterliteSPA



laterlite@laterlite.it



Inquadra il QR code
sulle pagine per avere
contenuti extra.

V Edizione aggiornata 03/2023.
© Laterlite Tutti i diritti riservati.
Vietata la riproduzione, anche
parziale, non autorizzata.
Per eventuali aggiornamenti che
dovessero entrare in vigore nel
corso dell'anno, si rimanda alla
consultazione del sito internet
www.leca.it e delle Schede
Tecniche.
Per ogni ulteriore informazione,
contattare l'Assistenza Tecnica
Laterlite (02 48011962
laterlite@laterlite.it).

1. L'argilla espansa per le opere geotecniche e infrastrutturali



1.1 Introduzione

L'argilla espansa è un materiale da costruzione **largamente impiegato nel settore dell'ingegneria civile** che fin dagli anni sessanta ha avuto una importante diffusione per applicazioni di isolamento termico e per il confezionamento di calcestruzzi alleggeriti. **L'impiego specifico nelle applicazioni geotecniche e infrastrutturali risale ai primi anni sessanta** in molti paesi europei e ai **primi anni ottanta in Italia** con la realizzazione di rilevati stradali, autostradali e aeroportuali alleggeriti (**dalle piste di atterraggio dell'aeroporto di Fiumicino alla terza corsia dell'Autostrada Roma-Fiumicino**).



L'argilla espansa possiede delle proprietà tali da risultare spesso una **soluzione semplice per complessi problemi dell'ingegneria civile**. Grazie al **peso contenuto, all'elevata resistenza meccanica e alle ottime capacità drenanti** i riempimenti in argilla espansa permettono di limitare notevolmente i carichi e le sollecitazioni imposte al terreno o alle strutture interagenti, riducono sensibilmente il rischio di instabilità, favoriscono il drenaggio dell'acqua sotterranea.

L'uso dell'argilla espansa Leca è regolato da **normative europee e italiane** per l'applicazione nei progetti di ingegneria civile.

I **riferimenti normativi per il calcolo e la progettazione** di opere in terra realizzate con argilla espansa sono:

- **UNI EN 1997-1** del 2010, Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica;
- **D.M. 17 gennaio 2018**, Norme Tecniche per le Costruzioni.

I requisiti di qualità del prodotto per l'impiego nelle **opere di ingegneria civile** e come **aggregato leggero alla base dei conglomerati cementizi e bituminosi** sono riportati nelle norme europee:

- **UNI EN 15732** del 2012 - Isolamento termico e prodotti leggeri di riempimento per applicazioni di ingegneria civile (CEA) - Prodotti di aggregati leggeri di argilla espansa (LWA);
- **UNI EN 13055** del 2016 - Aggregati leggeri.

L'argilla espansa Leca è provvista di **marcatura CE**.

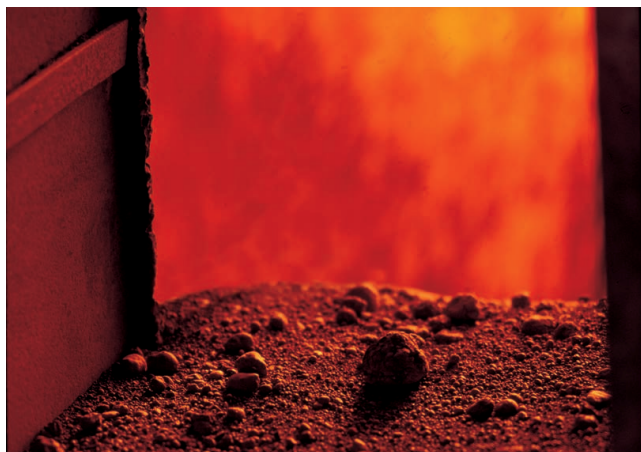


1.2 Cosa è l'argilla espansa

L'argilla espansa è un **aggregato leggero** che nasce dalla cottura ed espansione a circa 1.200°C in particolari forni rotanti ad asse orizzontale di speciali argille montmorillonitiche presenti in natura; il processo produttivo dà origine ad un aggregato naturale caratterizzato da una **struttura interna cellulare**, porosa con un elevato indice dei vuoti, racchiusa entro una **scorza esterna clinkerizzata**, compatta e resistente.



L'argilla cruda.



L'espansione

Il **tout venant di argilla espansa** risultante dal processo produttivo viene opportunamente **vagliato in classi granulometriche**, ciascuna caratterizzata da uno specifico fuso granulometrico più o meno eterogeneo nelle dimensioni dei granuli.

L'argilla espansa **Leca granulare** è l'aggregato **più frequentemente utilizzato per le applicazioni geotecniche**, per sottofondi a secco e riempimenti leggeri di vario tipo.

Laterlite produce altre tipologie di argilla espansa, differenziandosi rispetto al tradizionale Leca granulare: in particolare il **Leca Strutturale**, una tipologia di argilla espansa caratterizzata da prestazioni meccaniche superiori per impieghi specifici nel confezionamento di calcestruzzi leggeri strutturali.



Granulo di argilla espansa Leca.



Leca Strutturale in mucchio.

L'argilla espansa Leca, è un prodotto **inalterabile e resistente nel tempo**, privo di materiale organico o derivati: è caratterizzato da una **elevata durabilità** e non è soggetto a degrado da condizioni di temperatura o umidità estreme, **non si altera fisicamente**, resistendo bene anche agli acidi, basi, solventi e all'azione del gelo, **mantenendo quindi invariate le proprie caratteristiche fisiche in eterno**.



2. Argilla espansa: caratteristiche e proprietà

2.1 Granulometria

L'argilla espansa viene venduta in diverse **classi granulometriche** (in funzione della dimensione dei granuli), a seconda degli impieghi previsti: per realizzare opere in terra e riempimenti alleggeriti vengono utilizzati il **Leca 3-8**, **Leca 8-20** e **Leca 0-30**.

Il Leca non contiene particelle fini ma solo **materiale a grana grossa (da 2 mm)** e la dimensione media dei granuli varia con la classe granulometrica scelta.

Il **grado di assortimento** delle particelle, ovvero il grado di eterogeneità nelle dimensioni dei granuli che compongono il fuso granulometrico, varia per ogni classe. L'argilla espansa Leca 3-8, ad esempio, è un **materiale omogeneo** caratterizzato da un coefficiente di uniformità (U) definito come il rapporto tra il diametro dei granuli corrispondenti al 60% di passante (D_{60}) e il diametro dei granuli cui si ha il 10% di passante (D_{10}), pari a 1,7. L'argilla espansa Leca 0-30 ha una curva più eterogenea con valori del coefficiente di uniformità maggiori di 6.

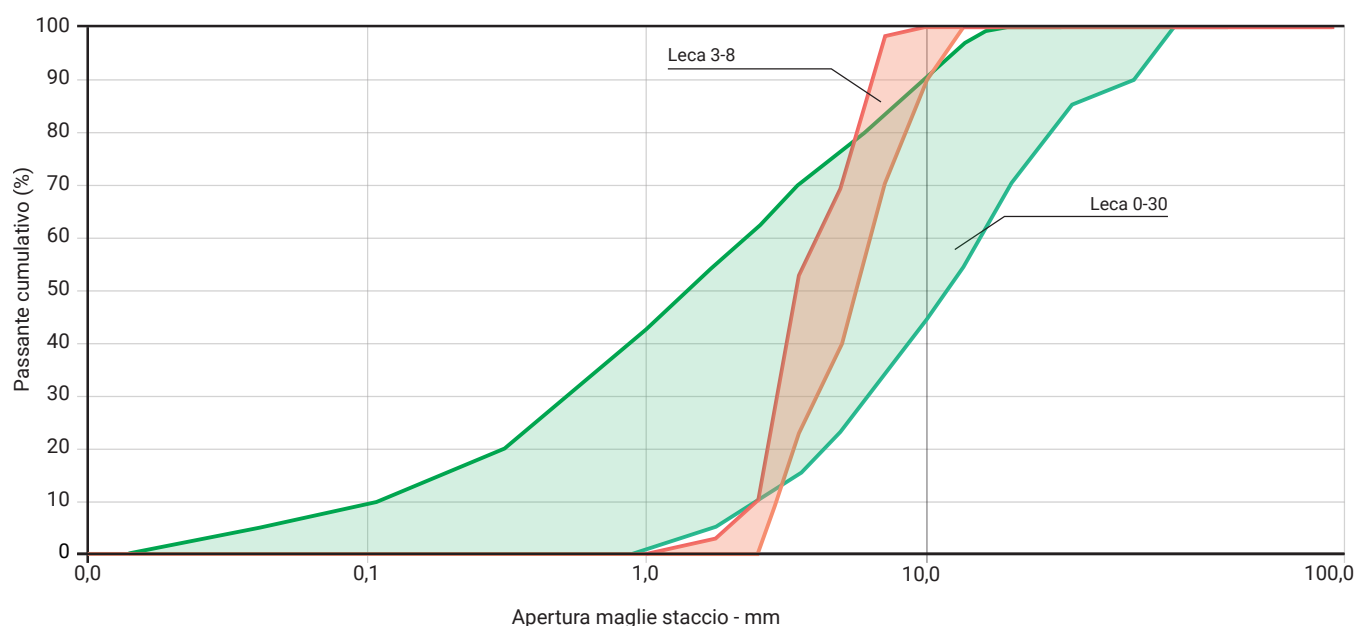
Per ogni classe granulometrica vengono identificati specifici parametri fisici come la **massa volumica** o il **grado di assorbimento dell'acqua** e caratteristiche meccaniche come la **resistenza a compressione** o la **rigidezza**.



Tout venant di argilla espansa Leca.

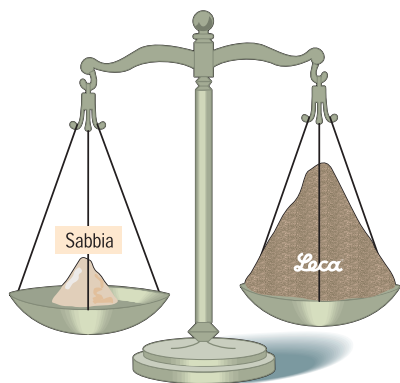
Le prove per la determinazione della distribuzione granulometrica seguono le prescrizioni della norma UNI EN 933-1.

Fuso granulometrico di argilla espansa Leca.



2.2 Densità

Una delle principali ragioni che conducono alla scelta dell'argilla espansa Leca per le applicazioni geotecniche è la sua peculiare **caratteristica di leggerezza** che la differenzia rispetto ad aggregati naturali come sabbia, ghiaia o il tradizionale materiale arido per le opere infrastrutturali in terra come i rilevati.



Il peso specifico in mucchio dell'argilla espansa Leca è pari a circa 1/5 di quello di un inerte da cava.

L'argilla espansa è un materiale che per molti aspetti è **assimilabile a un mezzo granulare tradizionale come sabbia o ghiaia** ma che se ne discosta per la presenza di vuoti endogranulari (vuoti interni al granulo): la struttura interna è costituita da **celle vuote** separate da pareti e spesso non interconnesse. **Il volume dei vuoti endogranulari rappresenta circa il 50% di quello totale.** Un campione di argilla espansa, tuttavia è caratterizzato da una **doppia porosità** dipendente dai vuoti endogranulari e dai vuoti intergranulari (vuoti tra granulo e granulo) che rappresentano tra il **30% e il 50% del volume totale.**

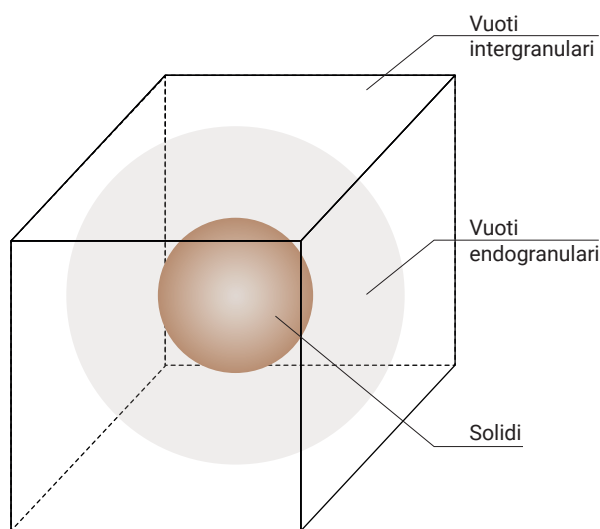
Considerando la doppia porosità del materiale, la **massa volumica in mucchio** del materiale secco è data dal rapporto tra il peso medio della parte solida e il volume totale del mucchio, inclusi i vuoti.

La massa volumica in mucchio del materiale secco rappresenta il peso specifico del prodotto, non vibrato né compattato. Ad ogni classe granulometrica è associata una specifica massa volumica in mucchio: ad esempio

fusi granulometrici caratterizzati da granuli di dimensioni mediamente più grandi, in cui il volume del nucleo poroso è predominante rispetto allo spessore della scorza compatta come il Leca 8-20, hanno un peso per unità di volume più basso.

La massa volumica del materiale, per un'assegnata distribuzione granulometrica, viene definita in funzione della densità relativa dell'ammasso, ovvero dello stato di addensamento raggiunto.

Per **massimizzare le prestazioni di rigidità e resistenza**, qualora sia richiesto, il materiale deve presentare un **opportuno grado di addensamento**, ottenuto per compattazione, corrispondente ad una **deformazione istantanea compresa tra il 10% e il 15%**; la densità in opera del riempimento alleggerito da considerare nei calcoli progettuali verrà determinata, quindi, in funzione del grado di addensamento insieme ad una certa percentuale di umidità assorbita dai granuli.



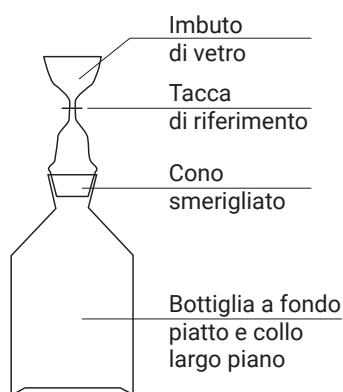
Schema teorico della distribuzione di solidi e vuoti nell'argilla espansa.

Le prove per la determinazione della massa volumica in mucchio e dell'indice dei vuoti seguono le prescrizioni della norma UNI EN 1097-3.

2.3 Il rapporto con l'acqua

Un aspetto molto importante da considerare per la corretta definizione del comportamento in opera dell'argilla espansa è la **variazione di densità** rispetto al suo stato secco, **determinata dalla presenza di acqua**. Il peso specifico in opera di un riempimento in argilla espansa Leca può essere condizionato dal tempo di immersione in acqua e dalle condizioni di saturazione dei granuli.

Nelle situazioni più frequenti in cui il riempimento di argilla espansa non sia sommerso o non sia influenzato dalle condizioni di falda, **il valore del peso specifico del materiale secco sarà corretto incrementandolo di circa il 20-25%** (rappresentativo dell'umidità ambientale assorbita).



Schematizzazione di un picnometro.

Tale incremento è il peso dell'acqua assorbita a seguito di una completa immersione di un provino di argilla espansa per 24h nelle **prove di imbibizione secondo UNI EN 13055-2**. La **prova di imbibizione** permette di misurare l'assorbimento d'acqua di un materiale in funzione del tempo.

Tale grandezza può essere determinata mediante l'impiego di un **picnometro**: la prova consiste nell'immergere in acqua un campione di argilla espansa, essiccato e pesato, e tenerlo immerso per 24h; una volta sgocciolato si procede a pesarlo. La differenza tra le due pesate corrisponde al quantitativo di acqua assorbita.

Nei casi di riempimenti sommersi, ad esempio sotto falda, bisogna invece considerare il seguente aspetto: la struttura interna del granulo di argilla espansa è costituita da celle vuote separate da pareti; i vuoti endogranulari si riempiono d'acqua con difficoltà e in molti casi non raggiungono mai la completa saturazione essendo occlusi e non interconnessi.

Inoltre, la scorza esterna del granulo è poco permeabile grazie a particolari trattamenti subiti durante il processo di cottura. Perciò quando le condizioni di drenaggio non sono garantite, il valore della massa volumica in opera viene calcolato tenendo conto della **completa saturazione dei vuoti intergranulari che occupano circa il 40-50% del volume totale e di una parziale saturazione dei vuoti endogranulari (dal 15 al 30%)**.

Valori di densità dell'argilla espansa.

Materiale	Densità a secco in mucchio (kg/m³)	Coefficiente d'imbibizione (%)	Addensamento per compattazione (%)	Densità in opera (kg/m³)	Densità satura (kg/m³)
Leca 0-30	390	25	18	~ 580	~1000
Leca 3-8	350	20	10	~ 460	~1000
Leca 8-20	320	25	14	~ 440	~1100

2.4 Resistenza a compressione triassiale

Le norma UNI EN 15732-2012 permette di determinare le proprietà e le prestazioni meccaniche dell'argilla espansa scegliendo tra le diverse prove.

La **prova di compressione triassiale** si articola in due fasi distinte: nella prima parte viene misurata la **compressibilità C(%)**. Il campione di argilla espansa all'interno di un provino cilindrico viene sottoposto a vibrazione con una conseguente riduzione del volume in funzione del tempo; la compressibilità C(%) indica il **livello di deformazione volumica raggiunto dopo una vibrazione di 180 secondi**.

Successivamente il provino compattato è sottoposto ad una prova di compressione a velocità di carico costante fino al raggiungimento di un **livello deformativo del 10%**. Il carico e lo spostamento applicati vengono continuamente registrati per determinare la curva tensione-deformazione dalla quale poter estrapolare i valori di **tensione di esercizio, CS (1)**, ovvero il valore di sollecitazione che direttamente applicata

all'argilla espansa provocherebbe una deformazione volumica inferiore al 1%, e il **valore di resistenza a compressione triassiale CS(10)** corrispondente al valore di sollecitazione che provocherebbe nel campione una deformazione del 10%.

Compressibilità e resistenza a compressione dell'argilla espansa.

Materiale	C(%)	CS(1) MPa	CS(10) MPa
Leca 0-30	18	0,2	1,5
Leca 3-8	10	0,2	1,8
Leca 8-20	14	0,2	1,4

La comprimibilità e la resistenza a compressione di un aggregato leggero sono prestazioni determinate in accordo con il metodo di prova descritto nella norma UNI EN 1097-11.

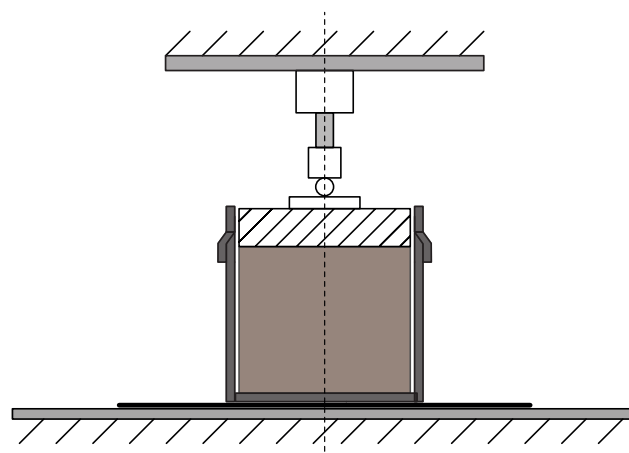
2.5 Deformazioni viscose

Gli **effetti differiti nel tempo**, derivanti dall'applicazione di carichi costanti sull'ammasso dell'argilla espansa Leca sono stati analizzati secondo i **metodi di prova forniti dalla norma UNI EN 15732:2012, all'allegato C**.

Le **prove di creep** hanno lo scopo di quantificare le deformazioni che si sviluppano in un determinato lasso di tempo in un provino confinato e preventivamente compattato, sottoposto a carico assiale costante.

La **prova di creep** eseguita su aggregati granulari come l'argilla espansa è di tipo edometrico e prevede che il provino, precedentemente compattato, sia inserito all'interno di un contenitore in acciaio che ne impedisca la deformazione laterale. Il provino viene sottoposto a carico assiale a un predeterminato livello tensionale con un incremento di 10 kN/min, e poi mantenuto costante per 24 ore. **Durante questo lasso di tempo viene misurata la deformazione assiale che subisce il provino.**

Nel caso dell'argilla espansa si osserva che l'entità dei **cedimenti viscosi diminuisce con l'aumentare della densità relativa ed è più significativa per granuli di dimensioni mediamente più grandi**. Ad esempio l'argilla espansa Leca 3-8 mostra uno scorrimento complessivo (creep) a 24 ore inferiore allo 0,1% che tende a rimanere costante nel tempo.



Apparecchiatura per la prova di creep.

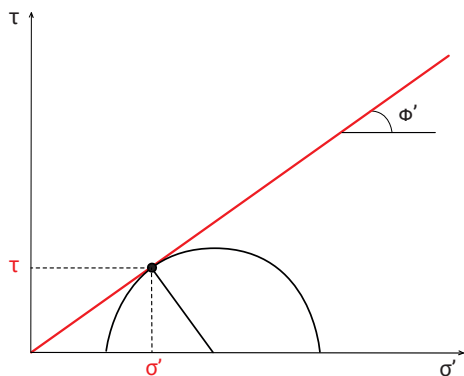
2.6 Resistenza al taglio

Il **comportamento meccanico a rottura** dell'argilla espansa, come per tutti i terreni granulari, è caratterizzato da una **resistenza a trazione nulla** e una **resistenza al taglio che cresce con la pressione di confinamento**.

Per l'argilla espansa si assume valido il **criterio di rottura di Mohr-Coulomb**, con il principio degli sforzi efficaci, così descritto (coesione nulla):

$$\tau = \sigma' \tan \varphi'$$

dove con φ' si indica l'angolo di attrito interno del materiale, con τ lo sforzo di taglio e con σ' la tensione di confinamento. Per la legge di rottura di Mohr-Coulomb, ogni stato tensionale caratterizzato da cerchi di Mohr nel piano τ - σ' che non toccano la retta definita dall'equazione suddetta, sono stati tensionali ammissibili.



Involucro di rottura alla Mohr-Coulomb.

Lo stato di rottura è raggiunto quando il cerchio di Mohr è tangente alla retta definita dall'equazione sopra. **Il valore dell'angolo di attrito interno viene ottenuto da prove di compressione triassiale.**

La prova di compressione triassiale viene eseguita in condizioni drenate su provini cilindrici di argilla espansa preventivamente compattati per vibrazione.

Ciascuna prova viene eseguita in controllo di deformazione e se non si verifica una condizione di rottura netta, **la prova viene interrotta in corrispondenza di un livello di deformazione assiale del 10%.**

Nelle prove eseguite, sono stati applicati tre differenti valori di pressione di confinamento pari a 20, 40 e 80 kPa e un carico assiale crescente fino al raggiungimento della rottura del provino stesso.

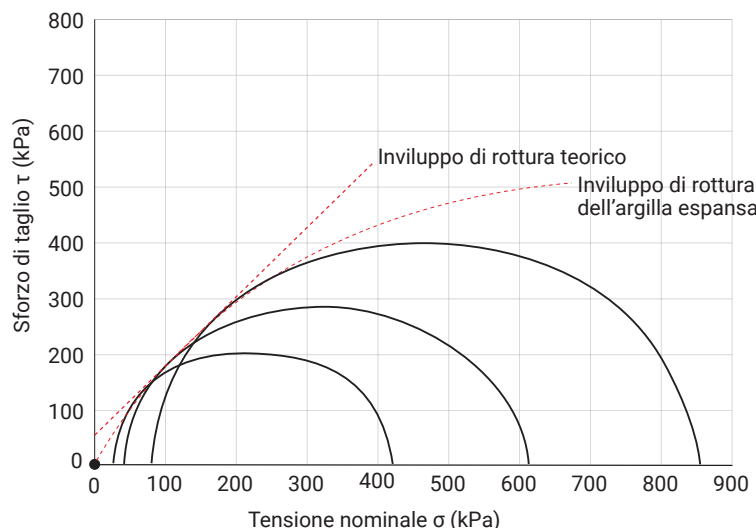
Nelle prove di compressione triassiale lo stato di rottura corrisponde al raggiungimento di una deformazione del 10% e i parametri ottenuti sono validi per stati tensionali simili a quelli riprodotti nel corso della prova.

Il valore massimo ottenuto per l'angolo di resistenza al taglio è pari a 50° con una coesione apparente di 57 kPa, per uno sforzo di taglio prossimo ai 250 kPa.

La coesione non nulla ottenuta è un parametro necessario per la modellazione del comportamento del materiale ma non rappresenta una proprietà fisica. In realtà, la condizione di rottura dell'argilla espansa definita dall'involucro alla Mohr-Coulomb, come per tutti i materiali granulari, è curvo; in aggiunta si osserva una riduzione dell'angolo di attrito interno al crescere della pressione di confinamento **fino a raggiungere un valore minimo di 40°.**

L'angolo di attrito interno dell'argilla espansa viene ottenuto da prove di compressione triassiali, in accordo con il metodo descritto nell'Allegato A della norma UNI EN 15732-2012.

Involucro di rottura a taglio su un provino di argilla espansa Leca.



2.7 Deformazione residua per carichi di compressione ciclica (comportamento a fatica)

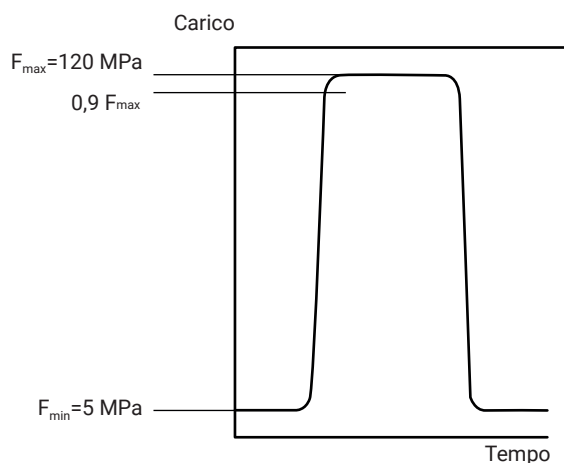
La valutazione del **comportamento a fatica** dell'argilla espansa rappresenta un **aspetto importante** per l'utilizzo come materiale di riempimento alleggerito in terrapieni **per strade, ferrovie e altre aree soggette a traffico veicolare**.

La resistenza dell'argilla espansa a fatica è definita come la **deformazione permanente residua** per un carico di compressione ciclica secondo una specifica onda quadra.

Nella prova di compressione ciclica il provino di argilla espansa viene precedentemente compattato per vibrazione e sottoposto ad un carico di compressione statico. Successivamente viene applicato un carico di compressione ciclica tra due valori minimo e massimo di 5 kPa e 120 kPa e una frequenza di 4 Hz, per due milioni di cicli di carico. Alla fine della prova viene misurata la deformazione totale del provino e divisa per l'altezza iniziale dello stesso, così da ottenere la **deformazione residua per compressione**.

Per tutte le classi granulometriche di argilla espansa tipicamente impiegate per le applicazioni geotecniche, è stato ottenuto un **valore di deformazione residua ai primi 1000 cicli di carico non superiore a 0,2% assestandosi a un valore costante dello 0,5% a 2.000.000 di cicli di carico**.

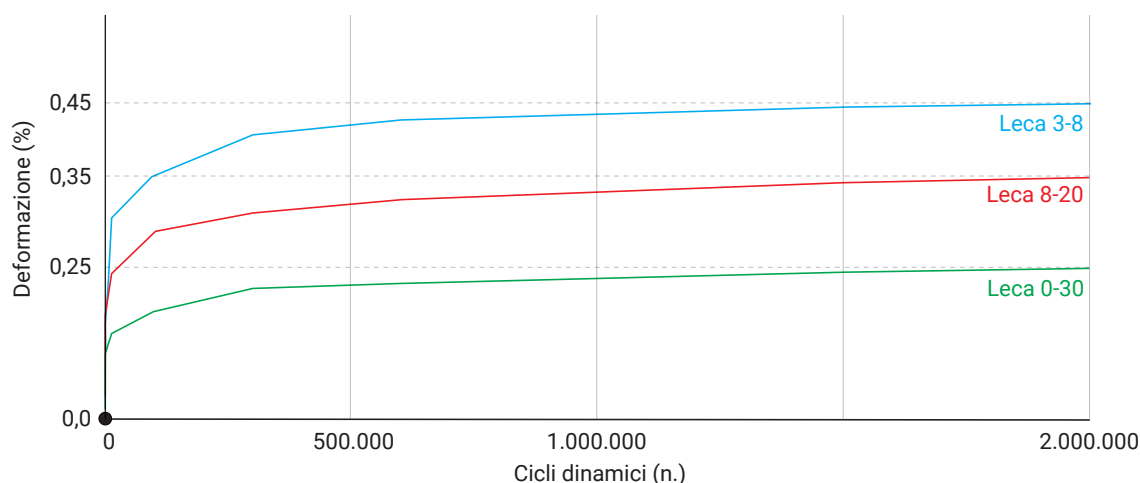
Tali risultati consentono di **confermare l'idoneità** dell'argilla espansa come materiale di riempimento di rilevati soggetti a carichi ciclici variabili come quelli prodotti dal traffico veicolare.



Onda quadra nella prova di compressione ciclica.

La determinazione di tale grandezza avviene in accordo al metodo di prova descritto nella norma **UNI EN 15732 - Allegato B**.

Comportamento medio di provini di argilla espansa nella prova di compressione ciclica triassiale.





3. Applicazioni e soluzioni

3.1 Rilevati leggeri con argilla espansa Leca

Nella progettazione di un'opera in terra soggetta a traffico veicolare, in particolare rilevati stradali, ferroviari o aeroportuali l'**obiettivo è di garantire in primo luogo la stabilità del sistema nel rispetto delle condizioni limite ultime e di contenere i cedimenti o deformazioni a breve e lungo termine** a valori tali da assicurare il **corretto funzionamento dell'opera** nel corso della vita utile.

La costruzione di nuovi rilevati artificiali o la modifica e allargamento di quelli esistenti si traduce in un **carico addizionale sul terreno di fondazione** con conseguente variazione dello stato tensionale e possibili cedimenti o deformazioni dipendenti dalla natura stessa del terreno di fondazione e dalle caratteristiche geometriche e fisiche della nuova struttura.

Se il sito su cui sorgerà la nuova opera, a causa di caratteristiche connesse all'assetto geomorfologico, alla tipologia di materiali di cui è costituito o alla presenza di strutture interferenti **risulta essere inadeguato** a garantire il rispetto delle condizioni di sicurezza e funzionalità, diverse sono le tecniche ingegneristiche possibili per migliorarne il comportamento e le prestazioni.

Tra queste la **realizzazione di rilevati alleggeriti si configura come una efficace soluzione a problematiche geotecniche talvolta anche molto complesse**, quali:

- presenza di terreni di fondazione caratterizzati da scadenti proprietà meccaniche;
- presenza di pendii prossimi alle condizioni limite di stabilità.



SS. 7 "Via Appia" (RM) - rilevato stradale.



Peschiera del Garda (VR) - rilevato stradale.

Per le modalità di posa in opera, compattazione e controlli in sito si rimanda agli approfondimenti specifici presenti al capitolo 4 di pag. 42.

Referenze

Autostrada Messina - Palermo Rilevato stradale



Poggio Renatico (FE) - Rilevato ferroviario



Variante di Valico Autostrada del Sole - Rilevato stradale



Referenze

Autostrada Catania Siracusa - Rilevato stradale



Interconnessione A4-A13 - Rilevato stradale



Roma EUR - Rilevato stradale



Referenze

Pescara Porta Nuova - Rilevato ferroviario



Svincolo di Pisa Centro - Rilevato stradale



Svincolo di Rastignano (BO) - Rilevato stradale



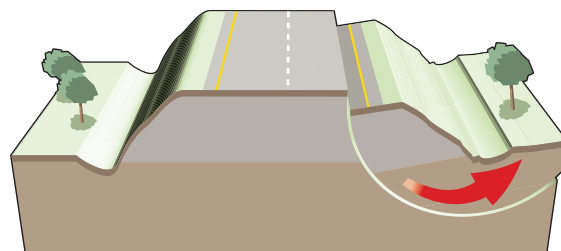
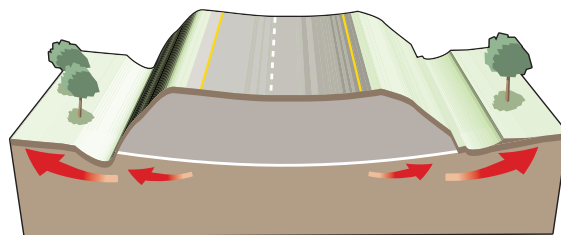
3.1.1 Rilevati su terreni cedevoli

Nei casi in cui il terreno di fondazione su cui sarà realizzato il nuovo terrapieno sia caratterizzato da strati di **materiale comprimibile o con scarse proprietà meccaniche**, la costruzione del nuovo rilevato e l'applicazione di un carico addizionale potrebbe comportare lo **sviluppo di cedimenti assoluti o differenziali la cui entità potrebbe essere inaccettabile** per garantire il corretto funzionamento dell'opera a breve e lungo termine.

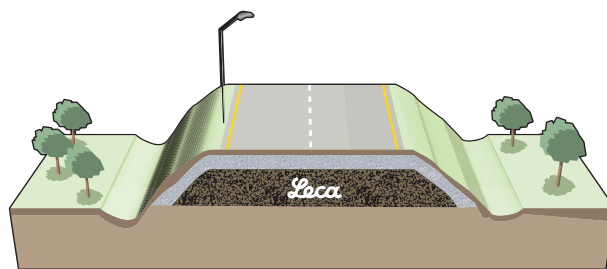
L'utilizzo di argilla espansa Leca come materiale di riempimento di un rilevato consente di abbattere notevolmente il peso proprio dell'opera, limitando le sollecitazioni sul terreno di fondazione con conseguente **riduzione dei cedimenti residui assoluti o differenziali a lungo termine**.

L'impiego di argilla espansa Leca per la costruzione dei rilevati rappresenta ormai da **più di 40 anni una tecnica largamente diffusa e semplice dal punto di vista progettuale e di cantiere**. Tale tecnica consiste nel **sostituire in parte o totalmente il materiale da cava "pesante"**, generalmente utilizzato per il corpo del rilevato, **con argilla espansa**.

La costruzione di un **rilevato alleggerito con argilla espansa Leca** rende, in molti casi, non necessario il ricorso a tecniche di miglioramento o irrigidimento del terreno di fondazione o di impiego di opere di fondazione profonde, mirate a bypassare gli strati più deboli allo scopo di trasmettere il sovraccarico addizionale a strati con caratteristiche meccaniche migliori.



Schematizzazioni dei fenomeni di cedimenti e instabilità dei rilevati.

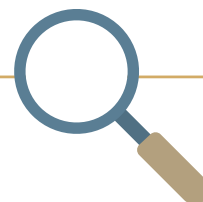


Schematizzazione di un rilevato in argilla espansa Leca.

FOCUS

In un progetto che prevede l'impiego di argilla espansa Leca come materiale di riempimento di rilevati stradali o ferroviari, si terrà conto dei seguenti aspetti:

- *proprietà fisiche e meccaniche dei terreni di fondazione e la storia di carico;*
- *valore ammissibile del cedimento e degli spostamenti differenziali;*
- *vita utile dell'opera da costruire;*
- *presenza di falda, indagine sul livello di falda e sulle variazioni stagionali;*
- *dimensioni dell'opera da costruire;*
- *presenza di strutture, edifici o altre infrastrutture limitrofe.*

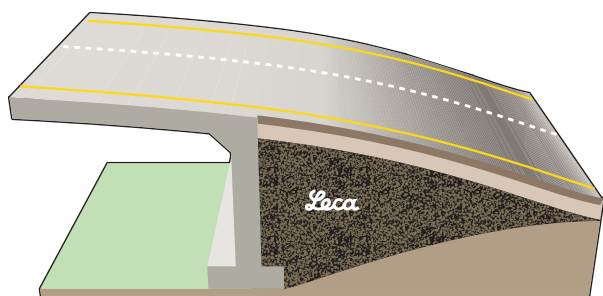


3.1.2 Rampe di allineamento ad opere d'arte

Nelle opere di ingegneria civile che si sviluppano linearmente, come ponti, viadotti, canali o condotte interrate possono verificarsi condizioni di **brusca variazione della rigidità del terreno di fondazione**. Se le zone interessate da questi fenomeni sono aree destinate alla presenza dell'opera, potrebbero **verificarsi cedimenti differenziali nella struttura** stessa o nell'approccio (accesso) alla stessa, compromettendone la funzionalità.

In particolare, nella realizzazione di strutture di transizione, come rampe di accesso a viadotti, svincoli stradali o allineamenti di rilevati ad "opere d'arte", uno degli inconvenienti più frequenti è la **formazione di dislivelli** fra le quote dei manufatti generalmente fondati su strutture rigide e quelle dei riempimenti dei cunei eseguiti di norma con materiale arido proveniente da cava.

Tale fenomeno può essere accentuato anche a causa di un assestamento progressivo del materiale di riempimento delle rampe dovuto ai carichi ciclici da traffico veicolare.



Rampe di allineamento ad opere d'arte con riempimento in argilla espansa.

L'**argilla espansa**, come materiale di riempimento leggero per **rampe o cunei di approccio a opere d'arte**, si configura come una soluzione efficace per il **contenimento dei cedimenti differenziali** legati alle differenti condizioni di rigidità del sottosuolo e per minimizzare eventuali fenomeni di assestamento del riempimento stesso.

Con un **riempimento alleggerito in argilla espansa Leca a tergo delle spalle da ponte**, la spinta attiva esercitata del cuneo in terra sulle stesse viene minimizzata a favore di una **maggiore condizione di stabilità dell'opera**.

I motivi di tale efficacia sono:

- 1) **elevata leggerezza** che minimizza il sovraccarico indotto su un terreno molle;
- 2) **elevata resistenza** a carichi ciclici e deformabilità residua per fatica contenuta;
- 3) **facilità di addensamento** grazie alla monodimensionalità dei granuli



Svincolo autostradale Padova Sud.



Autostrada A14 - Svincolo di Rubicone.



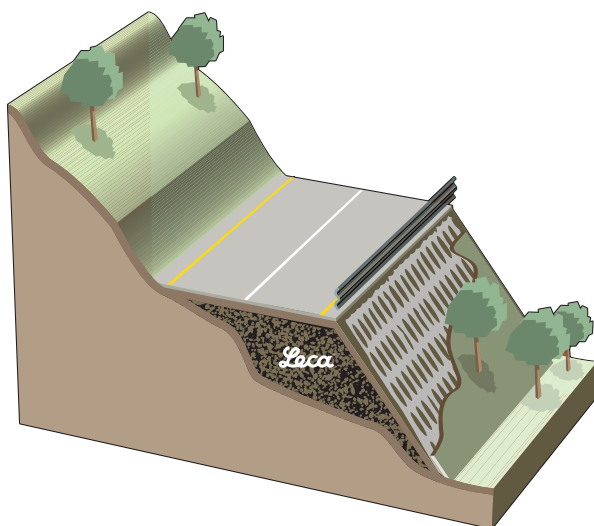
Strada Statale 106 Jonica.

3.1.3 Rilevati su pendio, potenzialmente instabile

I **fenomeni di instabilità dei pendii** che si traducono in movimenti di scorrimento rotazionali (tipici di ammassi con terreni omogenei di scarse proprietà meccaniche come argille tenere) o in movimenti traslazionali (tipici di depositi stratificati come argilliti), possono essere accentuati da cause esterne come l'applicazione di forze statiche gravitazionali.

La **costruzione di una nuova opera in terra su un pendio a potenziale rischio di collasso si traduce in un carico addizionale sui terreni**; il peso di un rilevato in terra realizzato a monte o a mezzacosta rappresenta una delle possibili cause che concorrono alla minimizzazione delle condizioni di stabilità di un pendio là dove il terreno presenta una già scarsa resistenza al taglio.

L'analisi del problema dell'interazione pendio-rilevato è molto complessa perché si articola nello studio della stabilità e della durabilità dell'opera.



Rilevato alleggerito su pendio con geogriglie per il contenimento laterale.

L'impiego di **argilla espansa** per la realizzazione del corpo del rilevato rappresenta una soluzione efficace al problema poiché **consente di sgravare il pendio dei carichi ed evitare l'innescarsi o il riattivarsi di movimenti franosi**.

La soluzione di alleggerimento in alcuni casi può essere **complementare ad altre tecniche costruttive** mirate all'irrigidimento o al consolidamento del terreno come paratie tirantate, sistemi di contenimento in terra armata o terra rinforzata ecc.



Rilevato su pendio a Valfabbrica (PG).



Rilevato su pendio a Ripe di San Ginesio (MC).

FOCUS

La stabilità del suolo e della struttura di riempimento saranno verificate mediante analisi geotecniche seguendo l'approccio standard per la valutazione della sicurezza globale delle opere in terra su versanti.

In particolare saranno valutati:

- le caratteristiche fisiche e meccaniche del terreno di fondazione e la sua storia tensionale;
- le pressioni interstiziali e il livello freatico;
- la morfologia e inclinazione del pendio;
- il fattore di sicurezza pre-intervento;
- le condizioni di carico.

3.1.4 Rilevati o terrapieni su strutture interrato

Nel caso di **strutture interrato**, il ritombamento della struttura realizzato con materiale da cava viene generalmente previsto per recuperare gli spessori al fine di raggiungere le quote di progetto di una nuova opera di viabilità, di una pista ciclabile o di un piazzale; lo stesso riempimento può avere l'unica funzione di ricostituzione della morfologia del terrapieno naturale scavato per realizzare l'opera. In ogni caso, un **riempimento in materiale da cava rappresenta solo un sovraccarico per la struttura sottostante, i cui elementi strutturali dovranno opportunamente essere dimensionati in funzione del peso addizionale del materiale di riporto.**

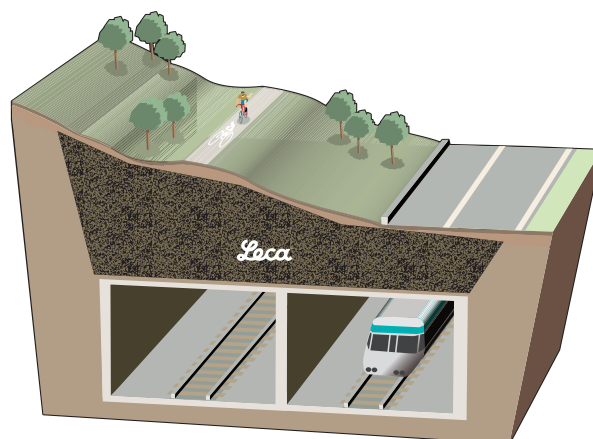
Con l'uso di argilla espansa come materiale di riempimento il **sovraccarico sulla struttura viene ridotto fino a 5 volte rispetto a quello prodotto da un materiale da cava**, mantenendo le prestazioni di resistenza e garantendo una capacità portante tale da poter realizzare opere di viabilità.

Un riempimento leggero in argilla espansa consente di:

- 1) **Ottimizzare l'economia dell'opera**, risparmiando sulle quantità di materiali da costruzione degli elementi strutturali;
- 2) **Assicurare un drenaggio continuo** e controllabile dell'acqua sulla zona da trattare;
- 3) **Garantire una esecuzione rapida e sicura** dell'opera.

Tra le tipologie più comuni di progetti di questo tipo si citano:

- riempimenti sopra gallerie artificiali;
- riempimenti sopra stazioni interrato;
- riempimenti sopra parcheggi o autorimesse interrati;
- ritombamenti di strutture in genere.



Rilevato leggero in argilla espansa Leca su strutture esistenti.



Ritombamento di galleria artificiale ferroviaria in prov. di Bari.

3.1.5 Ampliamento di rilevati esistenti

L'ampliamento di vecchi rilevati con nuovi riempimenti costituiti da materiale tradizionale potrebbe provocare nuovi **fenomeni di assestamento** e conseguente **sviluppo di cedimenti differenziali**, specialmente nei casi in cui il terreno di fondazione presenta scarse caratteristiche di resistenza.

L'impiego dell'argilla espansa come materiale del nuovo riempimento rappresenta una **soluzione che minimizza o elimina completamente il verificarsi di tali fenomeni.**

Un idoneo **sistema di collegamento tra vecchio e nuovo** dovrà essere opportunamente progettato per stabilire la continuità strutturale all'interfaccia ed evitare possibili movimenti laterali.



Ampliamento di un rilevato ferroviario a Pescara.

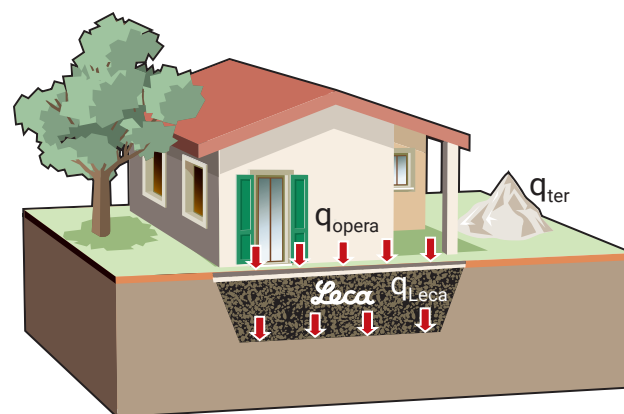
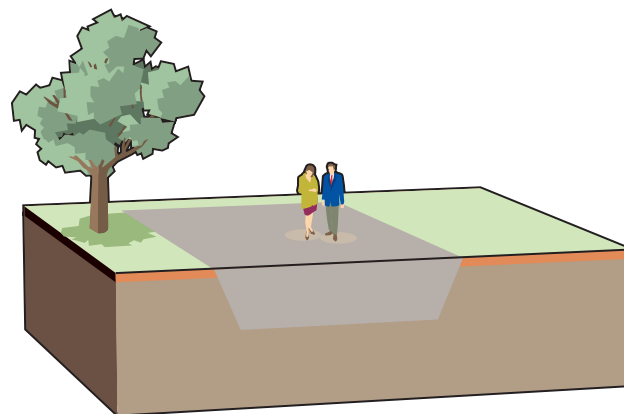
3.2 Fondazioni compensate

La tecnica della **compensazione del carico in fondazione** è generalmente impiegata nelle condizioni in cui la nuova opera venga realizzata su **terreni comprimibili**, al fine di **limitarne i cedimenti a lungo termine** che altrimenti risulterebbero inammissibili.

Tale tecnica consiste nell'**asportazione di parte del terreno naturale** su cui sarà realizzata l'opera, allo scopo di approfondire il piano di fondazione rispetto a quello campagna rimuovendo parte del terreno cedevole. Sul nuovo piano di fondazione andrà, quindi, ad agire un **incremento di carico inferiore rispetto a quello che si avrebbe in assenza di intervento**, avendo rimosso la massa di terreno naturale. Lo spessore dello strato di terreno rimosso potrà essere ricolmato con un **riempimento alleggerito a base di argilla espansa Leca**, circa 5 volte più leggera rispetto al terreno naturale, e il carico complessivo agente sul nuovo piano di fondazione sarà pari alla somma della componente del carico prodotto dal riempimento alleggerito e il sovraccarico indotto dalla nuova struttura.

I **cedimenti** che si sviluppano in corrispondenza della nuova opera potranno essere stimati in funzione del carico netto:

$$\Delta q = q - \gamma_{\text{TER}} D = (q_{\text{opera}} + q_{\text{Leca}}) - q_{\text{TER}}$$



Fondazione compensata in argilla espansa Leca.



Fondazione compensata Interporto di Prato.



Fondazione compensata per capannone industriale a Torgiano (PG).

Referenze

Interporto di Fiumicino - Fondazione compensata sotto capannone



Interporto di Ferrara - Fondazione compensata sotto capannone



Milano - Fondazione compensata con imboiaccatura di cemento



Trento - Fondazione compensata sotto capannone



3.3 Strutture di contenimento e opere di sostegno

Le **strutture di sostegno** come muri di contenimento di terrapieni, paratie di pali, diaframmi, spalle di ponti, pareti semi interrate ecc. sono soggette ad una **pressione esercitata dal riempimento di terreno** che agisce dietro alle stesse ed è proporzionale al peso proprio del riempimento.

L'argilla espansa Leca si presenta come **un'ideale alternativa ai materiali di riempimento tradizionali** come terreno arido, sabbia o ghiaia comunemente impiegati per queste specifiche applicazioni perché, oltre a possedere un **angolo di attrito interno elevato** ed equivalente a quello dei materiali tradizionali, è caratterizzata da un peso specifico molto più contenuto e un'**ottima capacità drenante** con una conducibilità idraulica $k > 10^{-3}$ m/s.

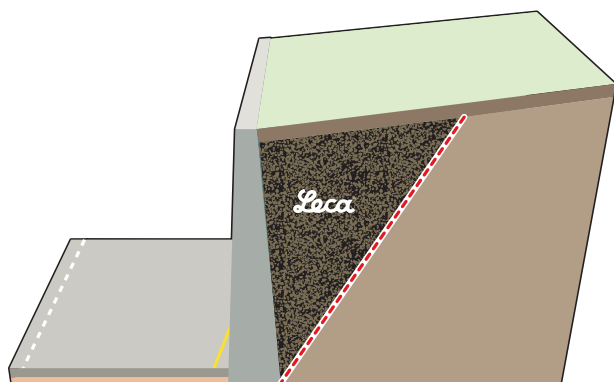
La sostituzione del materiale tradizionale per il riempimento, con l'**argilla espansa Leca** permette di **abbattere fino al 70/80% la spinta gravante sulla struttura di sostegno**; con questo risultato sarà possibile **ottimizzare la progettazione delle nuove strutture** oppure limitare/eliminare gli interventi di consolidamento strutturale delle vecchie strutture esistenti, laddove il fattore di sicurezza risulti essere inferiore rispetto ai limiti imposti dalle normative. Nella fattispecie, sui muri a gravità la **riduzione della spinta attiva** dovuta all'abbattimento del peso proprio e all'**elevata**

permeabilità del riempimento che inibisce l'accumulo delle pressioni neutre, insieme alla **riduzione della spinta pseudo-statica** come effetto di un'ipotetica azione sismica, garantiscono un miglioramento delle condizioni di sicurezza e stabilità dell'opera nei confronti di possibili fenomeni di ribaltamento o scorrimento.

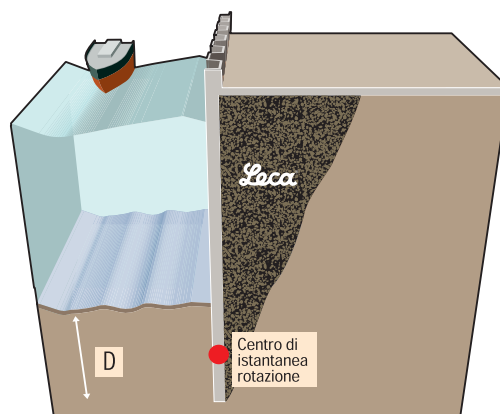
Per **strutture snelle come diaframmi, paratie ecc.** la riduzione del peso proprio del materiale di riempimento consente di progettare elementi di parete più sottili e di limitare la profondità di infissione delle fondazioni.



Ampliamento banchina porto di Goro (FE).



Riempimento leggero con argilla espansa Leca su muro a gravità.



Riempimento leggero con argilla espansa Leca su opera di sostegno flessibile.

FOCUS

Ai vantaggi di natura prestazionale dell'argilla espansa si affiancano i benefici operativi legati alla possibilità di pompare il Leca a lunga distanza e in quota, vantaggi particolarmente importanti per cantieri caratterizzati da un difficile accesso ai tradizionali mezzi di scarico del materiale.

Referenze

Autostrada A1, Firenze - Riempimento dietro parete laterale di galleria artificiale



Autostrada A1, San Vittore - Riempimento dietro paratie di pali



Lucca - Riempimento dietro cinta muraria



SS 106 Ionica - Riempimento dietro muro di sostegno



3.4 Gallerie

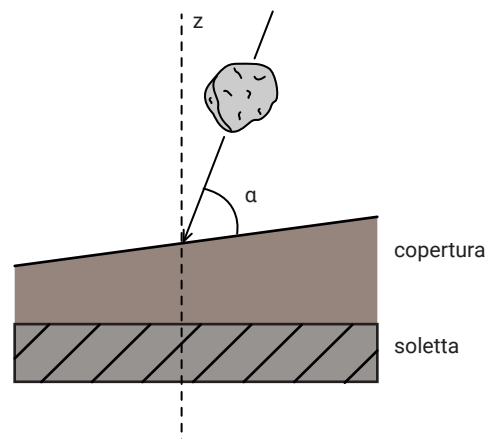
3.4.1 Gallerie paramassi

Le **gallerie paramassi** sono opere ingegneristiche di **protezione passiva del versante**, il cui scopo è quello di rallentare o deviare il moto di un masso in caduta dalla parete in roccia.

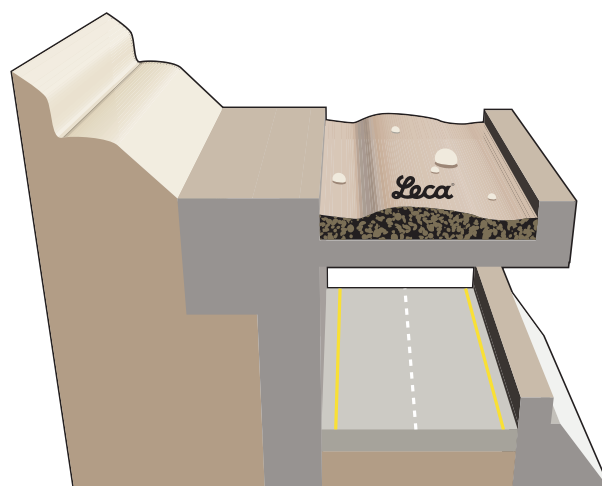
Tali opere vengono realizzate in condizioni di pendii potenzialmente instabili per **minimizzare il rischio derivante dalla caduta dei massi**, generalmente in corrispondenza di sedi stradali o ferroviarie; sono costituite da una struttura portante in calcestruzzo armato e completate da un **materassino assorbente costituito da inerti grossolani, cosiddetti "smorzatori"**. Gli smorzatori hanno, quindi, il compito di **rallentare o arrestare il moto dei massi in caduta assorbendone parte dell'energia cinetica**.

È possibile impiegare l'**argilla espansa Leca** come **materiale di riempimento per i materassini assorbenti** nelle gallerie o valli paramassi, con molteplici vantaggi:

- Il **basso peso specifico** dell'argilla espansa consente al riempimento di avere una **maggiore deformabilità e capacità di movimentazione** all'impatto del grave. Ciò risulta evidente se si considera che l'entità di energia cinetica dissipata nell'urto è inversamente proporzionale alla capacità portante del substrato e che la capacità portante del substrato è direttamente proporzionale al suo peso proprio. A parità di condizioni di sollecitazione **l'argilla espansa è in grado di dissipare più energia di un materiale pesante** come la ghiaia.
- Nei calcoli per il dimensionamento delle strutture in c.a. possono essere considerate sia **azioni d'urto inferiori** che un **minor carico permanente portato** dalla stessa struttura (grazie al basso peso specifico dell'argilla espansa).
- Queste strutture vengono realizzate in siti generalmente di difficile accesso ma, grazie alla **possibilità di pompaggio a lunga distanza** dell'argilla espansa, è possibile realizzare l'intervento senza ricorrere a tecniche di scarico del materiale più onerose (es. gru o elicotteri).



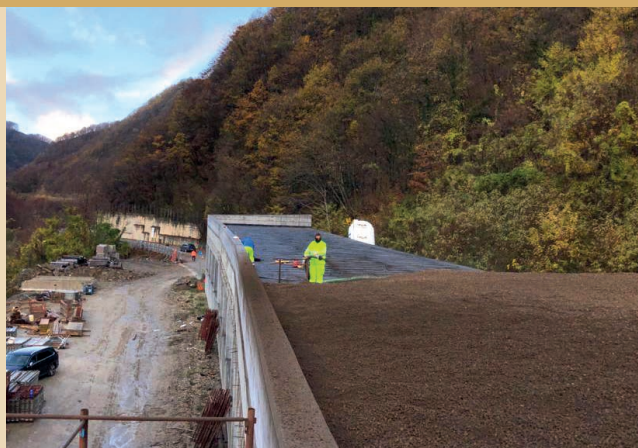
Schematizzazione del meccanismo di impatto del grave.



Materassino assorbente per la caduta massi in argilla espansa Leca.

Referenze

Crognaleto (TE) - Galleria paramassi



Norcia (PG) - Galleria paramassi



SS 45 bis Gardesana occidentale - Galleria paramassi



3.4.2 Riempimenti a tergo di conci nello scavo meccanizzato

Lo **scavo meccanizzato con TBM** è in genere utilizzato per realizzare tunnel in ammassi aventi ottime caratteristiche geo-meccaniche. In alcuni casi lo scavo può attraversare discontinuità o porzioni di ammasso con caratteristiche meccaniche più scadenti oppure tratti con coperture molto elevate (si pensi ad esempio ai trafori alpini).

L'**elevato stato tensionale dell'ammasso roccioso** potrebbe provocare ampie convergenze dello scavo o elevate pressioni interne sino a **compromettere la stabilità del rivestimento** (generalmente realizzato con conci prefabbricati in calcestruzzo), con resistenze non compatibili con le stesse convergenze. Il tecnico progettista dovrà quindi tener conto in fase di progetto della possibilità del verificarsi di tale fenomeno.

Una **soluzione**, di frequente utilizzo, risulta quella di **introdurre un materiale deformabile** per collasso tra l'ammasso e il rivestimento; tale materiale deve possedere sufficiente rigidità per garantire la stabilità dell'anello di rivestimento, ma deve essere sufficientemente fragile da collassare, deformandosi e trasferendo all'anello di rivestimento sforzi minori.

L'**argilla espansa Leca** si configura come materiale ideale per questo tipo di applicazione poiché:

- è **possibile posarla utilizzando i comuni sistemi di pompaggio** già disponibili nei cantieri di gallerie scavate con TBM;
- ha **ottime caratteristiche meccaniche**;
- ha un **elevato indice dei vuoti**;
- può essere impiegata in **combinazione con altri materiali** da costruzione al fine di ottenere la prestazione desiderata.



Galleria di sicurezza del G.S. Bernardo.

FOCUS

Riempimenti di cavità nelle gallerie esistenti

L'argilla espansa Leca viene impiegata come inerte per calcestruzzi o miscele cementizie specifiche per riempimenti alleggeriti di cavità al contorno di gallerie esistenti presenti all'estradosso del rivestimento di conci in calcestruzzo.

Gli interventi di riempimento con miscele alleggerite a base di argilla espansa hanno lo scopo di saturare i volumi vuoti presenti nell'ammasso, all'interfaccia con il rivestimento per ricostituire la continuità strutturale persa tra il rivestimento e l'ammasso e preservare il rivestimento esistente da eventuali distacchi o crolli di materiale dall'ammasso stesso.



3.5 Riempimento di cavità sotterranee

Una tecnica utilizzata per **evitare crolli di cavità sotterranee** naturali o di origine antropica è quella di riempirle con impasti di aggregato granulare e boiaccia cementizia.

Così operando si **evitano pericolose concentrazioni di sforzo** che possono causare, data la mancanza di duttilità dei materiali generalmente interessati da questi fenomeni (tufi, calcareniti, rocce tenere in genere di natura piroclastica o sedimentaria), crolli improvvisi in profondità, cedimenti ed effetti disastrosi sulle strutture eventualmente poste in superficie.

L'utilizzo di **argilla espansa** (sciolta o impastata con cemento), grazie alla sua elevata resistenza alla compressione, **consente di evitare la concentrazione degli sforzi** che nel tempo scompaiono (quelli di trazione) o si ridistribuiscono su aree più estese (quelli di compressione).

Il **vantaggio nell'impiego del Leca risulta ancor più evidente se si sospetta di trovarsi in presenza di un sistema di cavità sovrapposte**, alcune delle quali magari irraggiungibili. Le caratteristiche di leggerezza e resistenza rendono in questi

casi tale soluzione la più sicura.

L'argilla espansa, inoltre, con la sua elevata permeabilità **non condiziona il naturale regime di flusso delle acque sotterranee**.

Oltre ai benefici di natura statica ed idraulica la soluzione in Leca garantisce un notevole vantaggio di natura tecnologica: **il prodotto sciolto o impastato con cemento può essere pompato nelle cavità fino a profondità di 40 metri**.

L'argilla espansa è spesso utilizzata anche durante la costruzione di nuove gallerie quando ci si trova in presenza di indesiderate cavità lungo il tracciato (fornelli).

3.5.1 Cavity Filling (Uretek + Leca)

La tecnologia consiste nel **riempire la cavità interrata mediante pompaggio di argilla espansa Leca** (a granulometria controllata) e **successiva iniezione di resina espandente Uretek Geoplus** (con elevata forza di espansione) allo scopo di saturarne il volume interno, compattare i grani costituenti il riempimento e consentire un prefissato valore di precompressione sulle pareti.

Il riempimento prodotto dall'argilla espansa Leca **evita il verificarsi di crolli in superficie** legati a collassi improvvisi delle pareti della cavità (verifica dello stato limite ultimo), mentre la precompressione prodotta della resina espandente **previene il verificarsi di cedimenti in superficie** dovuti a semplici deformazioni delle pareti stesse (verifica dello stato limite di esercizio).



Cavity Filling sotto una scuola a Grottaferrata (RM).



Vantaggi

- Permette il ripristino della continuità tra la cavità riempita ed il terreno;
- Non altera i flussi d'acqua nel terreno.
- Può essere applicato senza accedere alla cavità.
- Consente interventi temporanei in quanto permette la rimozione del materiale di riempimento.

3.6 Allettamento delle tubazioni

L'argilla espansa Leca può essere impiegata come materiale di riempimento con molteplici vantaggi: **riduzione del carico** agente su strutture interrato, **contributo all'isolamento termico** per condotte o tubazioni interrato, **adeguato sistema di drenaggio** e efficace **strato ammortizzante per la protezione dell'elemento interrato** da eventuali carichi da traffico stradale.

L'impiego di argilla espansa Leca per l'allettamento di condotte o tubazioni (gasdotti, metanodotti ecc.) consente di:

- **prevenire possibili danni sulla condotta derivanti da repentine variazioni di temperatura** o dall'alternanza di fasi gelo/disgelo;
- **ammortizzare** eventuali deformazioni prodotte da fenomeni di instabilità nel terreno;
- garantire un **ottimale drenaggio** dell'acqua intorno alla tubazione.



Allettamento con argilla espansa di tubazione in prov. di Fermo.

3.7 Tumulazione di serbatoi

Lo **stoccaggio di liquidi pericolosi ed infiammabili** può essere la causa di gravi incidenti nell'industria chimica. Nel corso degli ultimi decenni sono emerse normative che impongono adeguati metodi di protezione da introdurre in sede di progetto per evitare o limitare i rischi collegati a queste operazioni di stoccaggio. Uno degli accorgimenti per **aumentare la sicurezza di questi serbatoi è di tumularlo con un materiale inerte**.

L'**argilla espansa** Leca si rivela essere una soluzione molto efficace per risolvere le problematiche in quanto:

- possiede **altissima percentuale di vuoti** (circa 85% sommando i vuoti endogranulari e intergranulari);
- **non è attaccabile chimicamente** né da ambienti acidi né basici;
- è **resistente agli agenti atmosferici** e ai cicli di gelo e disgelo;
- è totalmente **incombustibile**;
- è **pompabile** per ridurre i costi di posa in opera;
- è **leggera**, permette di non sovraccaricare le fondazioni ed evita cedimenti dei serbatoi che potrebbero compromettere la funzionalità degli stessi.



Tumulazione con argilla espansa di serbatoi a Ravenna.

3.8 Trincee drenanti

Per **stabilizzare pendii in materiali limo-argillosi**, caratterizzati da pendenze limitate e dalla presenza di falde sospese, vengono generalmente impiegate trincee drenanti realizzate lungo la linea di massima pendenza. Esse permettono di **diminuire la pressione dell'acqua all'interno del pendio** e, di conseguenza, di incrementarne il coefficiente di sicurezza.

Il riempimento della trincea è solitamente effettuato utilizzando un **inerte granulare caratterizzato per sua natura da un'elevata permeabilità** (drenaggio).

L'utilizzo di **argilla espansa** come terreno di riempimento **conferisce alle trincee drenanti un ulteriore effetto stabilizzante di natura meccanica**.

Se a monte esse vengono riempite con Leca e al piede con un tradizionale inerte di cava, si incrementa il coefficiente di sicurezza in quanto si **diminuisce il peso là dove esso risulta un fattore scatenante del collasso**.

A differenza di alcuni materiali artificiali usati per il medesimo scopo l'**argilla espansa**, essendo **naturale**, permette e **favorisce il rapido rimboschimento delle trincee**, così da rendere maggiormente stabile il sistema grazie alla presenza dell'apparato radicale della vegetazione (che può essere anche ad alto fusto).



Drenaggi di acque reflue cariche di acidi nei pressi di Chieti.

3.9 Sistemi di protezione passiva/vie di fuga

In campo stradale uno dei problemi oggetto di studio è la **protezione dei punti pericolosi** quali cuspidi di svincolo, pile, parapetti, varchi di guardrails, e costruzioni (caselli, cabine ecc.).

Esistono diversi tipi di **attenuatore d'urto con argilla espansa** per rispondere a diverse esigenze di velocità e di tipo di strada; tutti gli attenuatori sono certificati secondo la norma EN 1317.

L'argilla espansa Leca è inoltre utilizzato allo scopo di **rallentare auto e moto nelle vie di fuga** delle curve più pericolose degli autodromi di tutto il mondo.



Autodromo di Imola Curva della Rivazza.



Autodromo di Imola Curva della Rivazza.

3.10 Altre applicazioni

3.10.1 Argilla espansa Leca Cementata

L'argilla espansa cementata è un materiale ottenuto dalla miscelazione del Leca con cemento e viene confezionata allo scopo di creare un **riempimento con una maggiore rigidità e capacità portante**. L'argilla espansa cementata viene impiegata per la realizzazione di **strati di rilevati alleggeriti, riempimenti o strati di ritombamento** di strutture interrato, **sottofondi stradali** e in tutti i casi in cui sia necessario un riempimento semi rigido e autoportante. La classe granulometrica selezionata per la miscela, la quantità e la tipologia di cemento impiegato consentono di modificare le prestazioni del conglomerato in termini di leggerezza e capacità resistente. Un riempimento in argilla espansa cementata è a **struttura aperta o semi-chiusa**, in grado quindi di mantenere la **capacità drenante** tipica di un riempimento in argilla espansa sciolta.

L'argilla espansa Leca cementata ha una **densità variabile tra i 450 e 850 kg/m³** e **resistenza a compressione tra 1,5 e 8 N/mm²**.

Modalità di posa in opera

L'argilla espansa viene consegnata in cantiere con un **automezzo cisternato** adatto al **pompaggio** del materiale; all'interno del tubo di pompaggio viene iniettata la boiaccia di cemento realizzata in cantiere con idonea attrezzatura. La **compattazione** deve essere effettuata con piastra vibrante per strati inferiori a 50 cm.

3.10.2 Calcestruzzi leggeri strutturali e non strutturali

I **calcestruzzi leggeri** sono conglomerati cementizi nei quali una parte dell'aggregato naturale è sostituito da aggregati leggeri (argilla espansa Leca) con lo **scopo principale di ridurre la massa volumica rispetto a quelli tradizionali**.

Modulando la tipologia di argilla espansa impiegata e la percentuale di sostituzione dell'aggregato ordinario è possibile ottenere calcestruzzi con massa volumica e resistenza differenti, variabili in relazione alle esigenze progettuali.

I calcestruzzi leggeri strutturali **sono caratterizzati da resistenze comparabili ai calcestruzzi ordinari** e, grazie alla ridotta massa volumica, trovano largo impiego in quei contesti in cui la **riduzione dei pesi propri degli elementi**

strutturali è uno dei principali obiettivi della progettazione. Esempi significativi sono le strutture dove si interviene per **migliorare la sicurezza sismica** o nella progettazione di strutture architettonicamente ricercate.

A disciplinare gli impieghi e le caratteristiche in Italia è il D.M. 17 gennaio 2018, Norme Tecniche per le Costruzioni, con la relativa circolare applicativa.

I calcestruzzi leggeri strutturali possono essere **confezionati in centrale di betonaggio o forniti in cantiere in sacchi premiscelati pronti all'uso** (gamma LecaCLS).

In genere nei grossi cantieri infrastrutturali, soprattutto nell'ambito di nuove opere, vengono impiegati attraverso le centrali di betonaggio in ragione degli elevati volumi d'impiego e dalle tempistiche esecutive.

I calcestruzzi premiscelati in sacco, **LecaCLS**, sono ideali per getti strutturali in cantieri con logistica sfavorevole (getti in quota, limitata accessibilità in cantiere) e laddove sia importante **ottimizzare la prestazione leggerezza-resistenza del calcestruzzo**.

I **massetti e i betoncini leggeri a base di argilla espansa** sono conglomerati cementizi, a struttura aperta o chiusa, la cui massa volumica in opera può variare tra 450 kg/m³ e 1200 kg/m³ con resistenze a compressione sino a 30 MPa. Trovano impiego in tutti i casi in cui, intervenendo su opere esistenti, si abbia la **necessità di limitare il carico permanente portato dagli elementi non strutturali** come massetti delle pendenze, sottofondi stradali e riempimenti di ogni genere allo scopo di sovraccaricare al minimo la struttura portante esistente.

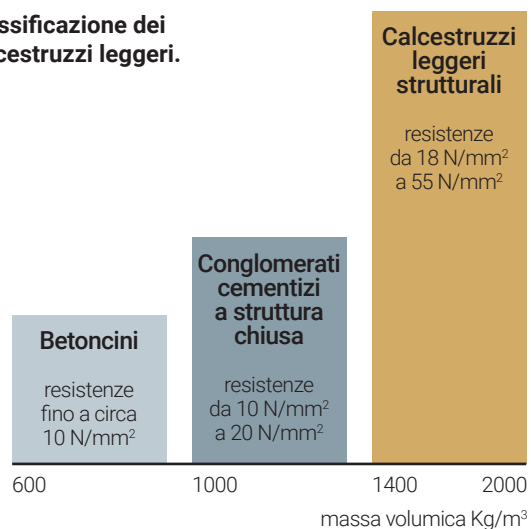
Modalità di posa in opera

I calcestruzzi leggeri, strutturali e non, i massetti e i betoncini leggeri a base di argilla espansa **possono essere impiegati in varie modalità**:

- **premiscelati in sacco**, gamma Lecacem-Lecamix-LecaCLS, sfruttando la facilità e la sicurezza d'uso offerta dal prodotto pronto all'uso;
- **confezionati in opera**, quando viene impiegata unicamente l'argilla espansa;
- **confezionati in centrale di betonaggio** o con specifici **sistemi meccanizzati** (camion), quando è necessario realizzare un vero e proprio misto cementato alleggerito.

La scelta è influenzata dalle esigenze progettuali, legate alle prestazioni attese dal conglomerato, dalla logistica, dalla posizione del cantiere o dalla produttività oraria richiesta.

Classificazione dei calcestruzzi leggeri.



Leca cementata sopra galleria artificiale a Monza.



Consolidamento ponte in muratura con calcestruzzo leggero strutturale premiscelato R_{ck} 40 MPa.



Sottofondo stradale alleggerito su viadotto a Sori (GE).



Massetto alleggerito su ponte E45 a Umbertide (PG).



Massetto alleggerito a Genova.

3.10.3 Barriere Fonoassorbenti

L'incremento del traffico stradale, la crescente urbanizzazione e la richiesta della popolazione di qualità del vivere hanno portato anche in Italia una sensibilità al tema dell'**inquinamento acustico**. Per ridurre la propagazione del rumore ed il conseguente disturbo vengono realizzate **barriere antirumore in abbinamento a tappeti fonoassorbenti**.

Le **proprietà fonoassorbenti** di una barriera antirumore possono essere assicurate:

- da uno **strato poroso in calcestruzzo di argilla espansa** con spessore variabile da 5 a 15 cm;
- da **elementi vibrocompressi in calcestruzzo di argilla espansa**, di spessore compreso tra 12 e 15 cm, solidarizzati al supporto in calcestruzzo armato.

Le protezioni antirumore in elementi Leca vibrocompressi abbinano elevate prestazioni di fonoassorbimento e fonoisolamento ad una forte valenza estetica.

Con tali elementi è possibile realizzare:

- **barriere antirumore con elevate caratteristiche di fonoisolamento e fonoassorbimento**. A tal fine si possono produrre pannelli prefabbricati ottenuti solidarizzando gli

elementi Leca allo strato portante in calcestruzzo armato (o ad un elemento metallico) oppure murature realizzate in opera.

- **rivestimenti fonoassorbenti di muri esistenti in calcestruzzo**; il rivestimento può essere eseguito montando pannelli prefabbricati oppure fissando direttamente gli elementi al muro.



Autostrada E55-Udine.

3.10.4 Pavimentazioni stradali

Tappeti fonoassorbenti ad elevata aderenza

L'**aderenza** in un normale tappeto bituminoso è affidata alle caratteristiche di **C.L.A.** (coefficiente di levigabilità accelerata) degli inerti utilizzati.

Non sempre questa caratteristica resta costante nel tempo a scapito della sicurezza: in pratica, dopo la spogliazione superficiale dal bitume, inizia in un tappeto il **processo di lucidatura dell'inerte** attraverso il contatto con lo pneumatico. Questo fenomeno, dopo qualche mese di esercizio della strada, tende a **ridurre l'aderenza**.

Il **10% in peso di argilla espansa Leca** inserito nella miscela di un tappeto assicura nel tempo valori di C.A.T. (coefficiente attrito trasversale) di circa 60 ed una **riduzione dello spazio di frenata** dal 10 al 25% in rapporto alla velocità dell'automobile.

L'**argilla espansa Leca, uniformemente distribuito nella miscela, assicura valori di C.A.T. superiori ai minimi prescritti e per tutta la vita del tappeto**. L'argilla espansa Leca può essere utilizzata per migliorare l'aderenza globale del tappeto quando in loco ci sono inerti a basse prestazioni.

Le tecniche di posa in opera per i conglomerati con Leca non differiscono da quelle comunemente adottate.

La particolare struttura di Leca **attenua il rumore riducendo sensibilmente la riflessione dell'onda acustica**. Questa caratteristica dell'inerte, unita ad una curva granulometrica ben studiata, **conferisce al conglomerato buoni valori di assorbimento acustico**.



Tappeto di usura fonoassorbente SS. 96 Bari-Matera.



4. Modalità costruttive dei rilevati leggeri

I rilevati alleggeriti in argilla espansa Leca vengono **progettati mediante specifiche sequenze stratigrafiche e modalità di contenimento laterale**, in funzione delle specifiche esigenze e degli obiettivi da raggiungere in tema di riduzione delle sollecitazioni in fondazione.

Alla tecnica di alleggerimento del rilevato può essere associata la tecnica di compensazione del carico in fondazione (cfr. Fondazioni Compensate al par. 3.2) allo scopo di limitare ulteriormente la variazione tensionale nel terreno di fondazione rispetto alle condizioni geostatiche precedenti e conseguentemente limitare i cedimenti.

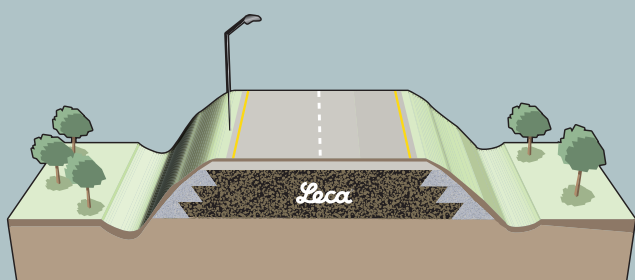
La **figura A** illustra la categoria di rilevati alleggeriti senza fondazione compensata che sfruttano unicamente l'effetto benefico indotto dal minor peso specifico del materiale che si traduce in un minor sovraccarico.

La **figura B** illustra la categoria di rilevati alleggeriti con compensazione.

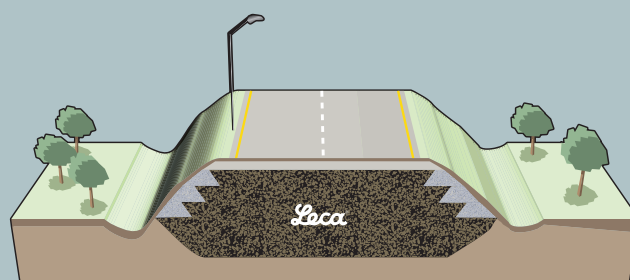
Un rilevato alleggerito può essere costituito **totalmente da argilla espansa oppure è possibile alternare strati di argilla espansa a strati di misto granulare da cava**.

Nel **primo caso** si ha il vantaggio di ridurre al massimo il peso proprio della struttura, progettando l'opera con una densità di progetto variabile dai 4 ai 7 kN/m³ (in funzione della tipologia di Leca scelta); nel **secondo caso** il peso proprio dell'opera potrà essere leggermente superiore poiché si dovrà tener conto della maggiore densità del materiale granulare da cava che andrà a costituire gli strati di interposizione nel riempimento alleggerito.

La scelta della **sequenza stratigrafica** è principalmente dipendente dalle caratteristiche prestazionali richieste dal rilevato e dunque dai cedimenti prevedibili e accettabili. Le possibili sequenze stratigrafiche e le modalità di posa in opera saranno illustrate nei paragrafi successivi.



A: rilevato alleggerito con argilla espansa Leca.

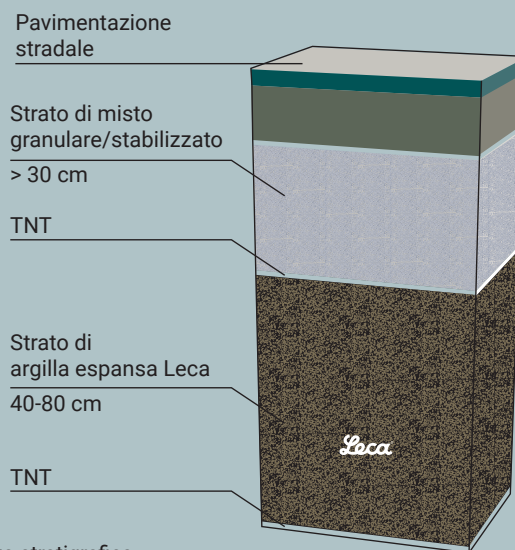


B: rilevato alleggerito e fondazione compensata con argilla espansa Leca.

4.1 Rilevati in sola argilla espansa

Il metodo costruttivo dei rilevati alleggeriti più comune nel resto di Europa consiste nel realizzare una **successione di strati di sola argilla espansa** fino al raggiungimento del piano di fondazione stradale, strato tipicamente costituito da misto granulare o misto stabilizzato granulometricamente con uno spessore minimo di 30 cm.

La scelta di realizzare rilevati in sola argilla espansa deriva principalmente dalla necessità di massimizzare la prestazione di leggerezza dell'opera, con la possibilità di realizzare rilevati con una **densità compresa tra i 4 e i 7 kN/m³**.



Sequenza stratigrafica.

4.2 Rilevati in argilla espansa e misto granulare

La tecnica più comune per realizzare rilevati alleggeriti in Italia prevede che il terrapieno venga costruito secondo una **sequenza alternata di strati più consistenti di argilla espansa Leca** e strati di ripartizione più sottili in misto granulare da cava.

Lo spessore degli strati di argilla espansa varia dai 40 cm ai 100 cm in funzione di:

- 1) destinazione d'uso dell'opera;
- 2) classe granulometrica di argilla espansa scelta;
- 3) tipo di mezzo impiegato per la compattazione e relativa energia imposta per massimizzare lo stato di addensamento;
- 4) sistema di contenimento laterale o quando al rilevato alleggerito siano associate altre tecniche come le terre rinforzate con geogriglie.

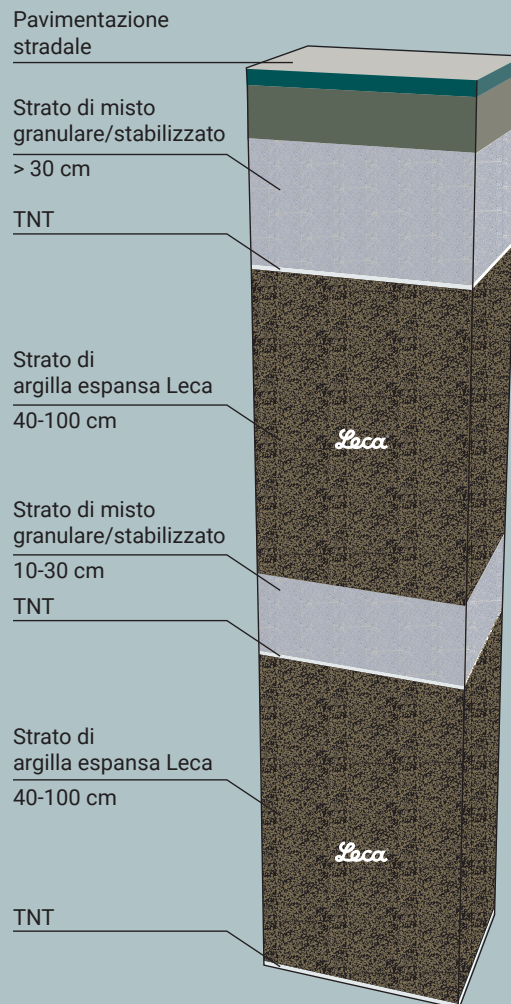
Lo strato di misto granulare ha uno spessore variabile tra i 10 cm e i 30 cm, si configura come uno **strato ripartitore** di carico e viene impiegato per diversi motivi:

- aumentare la capacità portante e la rigidità del singolo strato di rilevato, soprattutto nei casi di opere autostradali o ferroviarie, in modo che per ogni strato del rilevato vengano sempre raggiunte le prestazioni richieste dai capitolati tecnici delle committenze stradali, autostradali e ferroviarie italiane;
- facilitare le operazioni di compattazione, con la possibilità di impiegare le più comuni tecniche utilizzate per i rilevati tradizionali.

Ciascuno strato di argilla espansa sarà sempre "protetto" da un geotessile (TNT) dall'eventuale contaminazione da parte delle particelle più fini presenti nello strato di materiale arido da rilevato, allo scopo di preservare la peculiare caratteristica di leggerezza del riempimento.

La geomembrana sintetica non dovrà possedere particolari caratteristiche di resistenza a trazione, ma dovrà avere una grammatura minima di 150 g/m².

La densità in opera di un rilevato alleggerito a stratigrafia mista varia tra 8 e 11 kN/m³.



Sequenza stratigrafica.



Strato di argilla espansa alternato a misto granulare con interposizione di TNT.



4.3 Tecniche di contenimento laterale e posa in opera

Il nucleo alleggerito di un rilevato costituito da strati di argilla espansa o da strati di argilla espansa e misto granulare dovrà opportunamente essere **confinato lateralmente**.

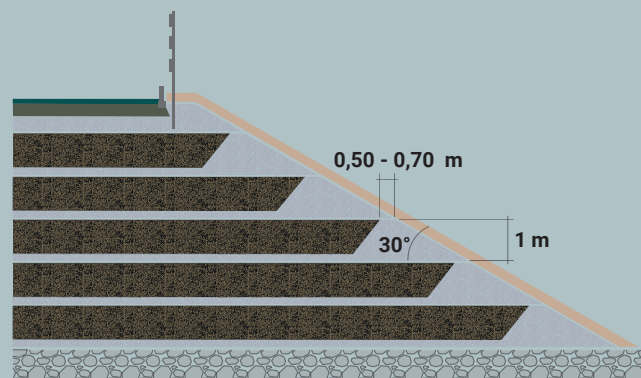
La **tecnica di contenimento più frequente prevede l'esecuzione di arginelli** di forma trapezoidale in misto granulare o terreno naturale a densità normale, allo scopo di confinare lateralmente il nucleo alleggerito e consentirne così un'adeguata compattazione.

La **sequenza costruttiva** si articola nelle seguenti fasi:

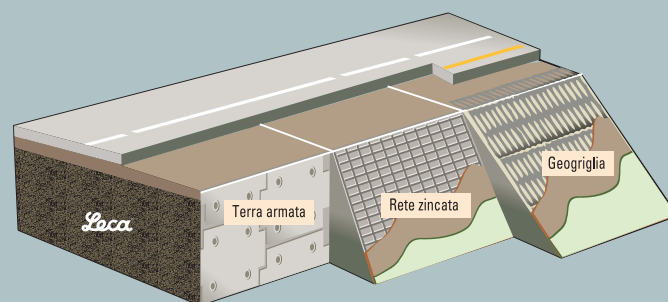
- 1) preparazione del piano di posa;
- 2) applicazione del TNT sul piano di posa;
- 3) realizzazione, sagomatura e compattazione degli argini laterali;
- 4) posa e stendimento del primo strato di argilla espansa per lo spessore indicato dal progetto;
- 5) risvolto del geotessile a protezione dello strato di argilla espansa;
- 6) posa e stendimento del misto granulare per lo spessore indicato dal progetto (*);
- 7) compattazione del pacchetto;
- 8) esecuzione del secondo strato di rilevato ripetendo la sequenza a partire dalla fase 3.

(*) nei casi di rilevati leggeri a stratigrafia mista.

Come per i rilevati tradizionali, anche per i rilevati alleggeriti **è possibile impiegare tecniche come terre armate o rinforzate con geogriglie**, allo scopo di incrementare la pendenza delle scarpate laterali per ridurre al minimo l'ingombro dell'opera senza penalizzare le condizioni di stabilità globale dell'opera (vedere figura).



Configurazione di un rilevato alleggerito in argilla espansa con arginelli di contenimento.



Configurazioni per il contenimento laterale di un rilevato alleggerito in argilla espansa con Terre Armate o rinforzate.



Contenimento laterale mediante argini in misto granulare.



Contenimento laterale mediante terre rinforzate con geogriglia.

4.4 Compattazione e controlli di qualità

Il raggiungimento delle prestazioni di resistenza e rigidità appropriate agli standard richiesti per le opere infrastrutturali (descritte nei paragrafi precedenti), è vincolato al raggiungimento del massimo stato di addensamento del materiale in sito.

I metodi di compattazione dei rilevati alleggeriti si differenziano in funzione della tipologia costruttiva impiegata.

In un **rilevato costituito da strati di argilla espansa e misto granulare** le operazioni di compattazione vengono eseguite sullo strato di misto granulare, mediante il passaggio di rulli statici o dinamici. Il numero di passate necessarie dipenderà da fattori quali tipo e peso dei rulli, velocità del rullo, spessore di stesa ecc.

Nel caso di **rilevati realizzati in sola argilla espansa** le tecniche di compattazione differiscono rispetto a quelle convenzionali.

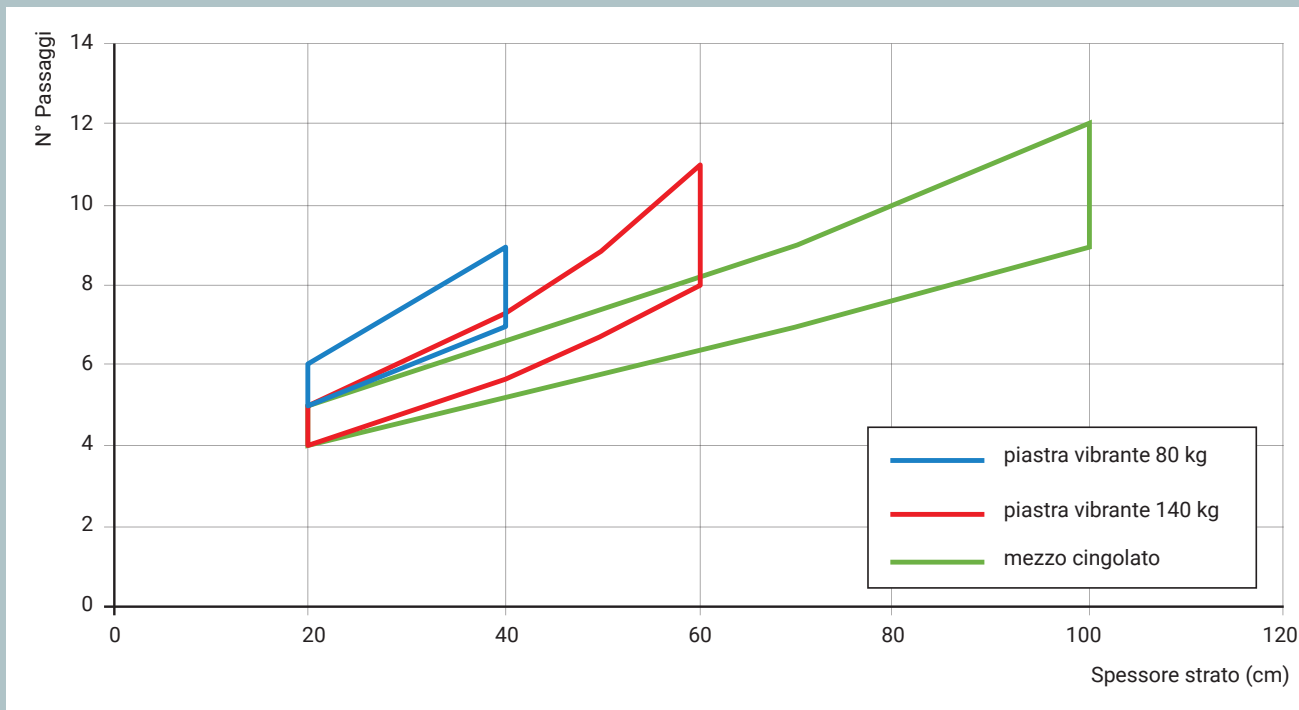
I rulli compattatori vengono sostituiti da apripista o dozer cingolati, tipicamente impiegati nelle operazioni di movimentazione delle terre. Il numero di passate dei

mezzi è variabile in funzione dello spessore del singolo strato da compattare e in funzione del carico imposto del mezzo. Gli spessori consigliati per ottimizzare il processo di compattazione variano da 0,40 a 0,80 metri, con l'applicazione di un carico non superiore ai 70-100 kPa in modo da limitare eventuali fenomeni di frantumazione dei granuli.

Per la compattazione in zone localizzate o in punti di geometria complessa, in cui è impedito l'accesso ai mezzi di movimentazione delle terre possono essere impiegate piastre vibranti con pesi compresi tra 80 e 140 kg.

Grazie alla **ridotta massa volumica dell'argilla espansa**, il riposizionamento dei granuli per raggiungere la configurazione di massimo addensamento e riduzione dei vuoti, avviene con **forze piuttosto moderate**. Seguendo i criteri sopra descritti si otterrà una **riduzione dello spessore del singolo strato compattato di circa il 10-15%** raggiungendo un grado di compattezza ottimale per il mantenimento delle caratteristiche di resistenza e rigidità nel tempo.

Compattazione diretta su argilla espansa.



5. Modalità di consegna

5.1 Sfusa

Qualsiasi classe granulometrica di argilla espansa Leca può essere consegnata **sciolta mediante autotreni ribaltabili a scarico posteriore o laterale o con walking-floor**. Ogni autotreno può trasportare fino a **65-70 m³** a seconda delle granulometrie e della specifica densità del prodotto. Con questa modalità di consegna il materiale viene scaricato a terra e poi successivamente movimentato con gli appositi mezzi (es. bulldozer).



5.2 Pompata sfusa

L'argilla espansa Leca può essere consegnata in cantiere anche mediante **autotreni (motrice + rimorchio) cisternati equipaggiati di tubi pneumatici per il pompaggio del materiale**. Con questa modalità di consegna è possibile installare direttamente il materiale in spazi ristretti o difficili da raggiungere.

Il **pompaggio del materiale può avvenire fino a 80-100 metri di distanza**.



5.3 Big bag o sacchi

Quando necessario è possibile fornire l'argilla espansa Leca anche in **sacchi da 50 litri o big bag da 1-1,5-2 m³**.







Assistenza Tecnica

02.48011962 | via Correggio, 3 | 20149 Milano
Leca.it