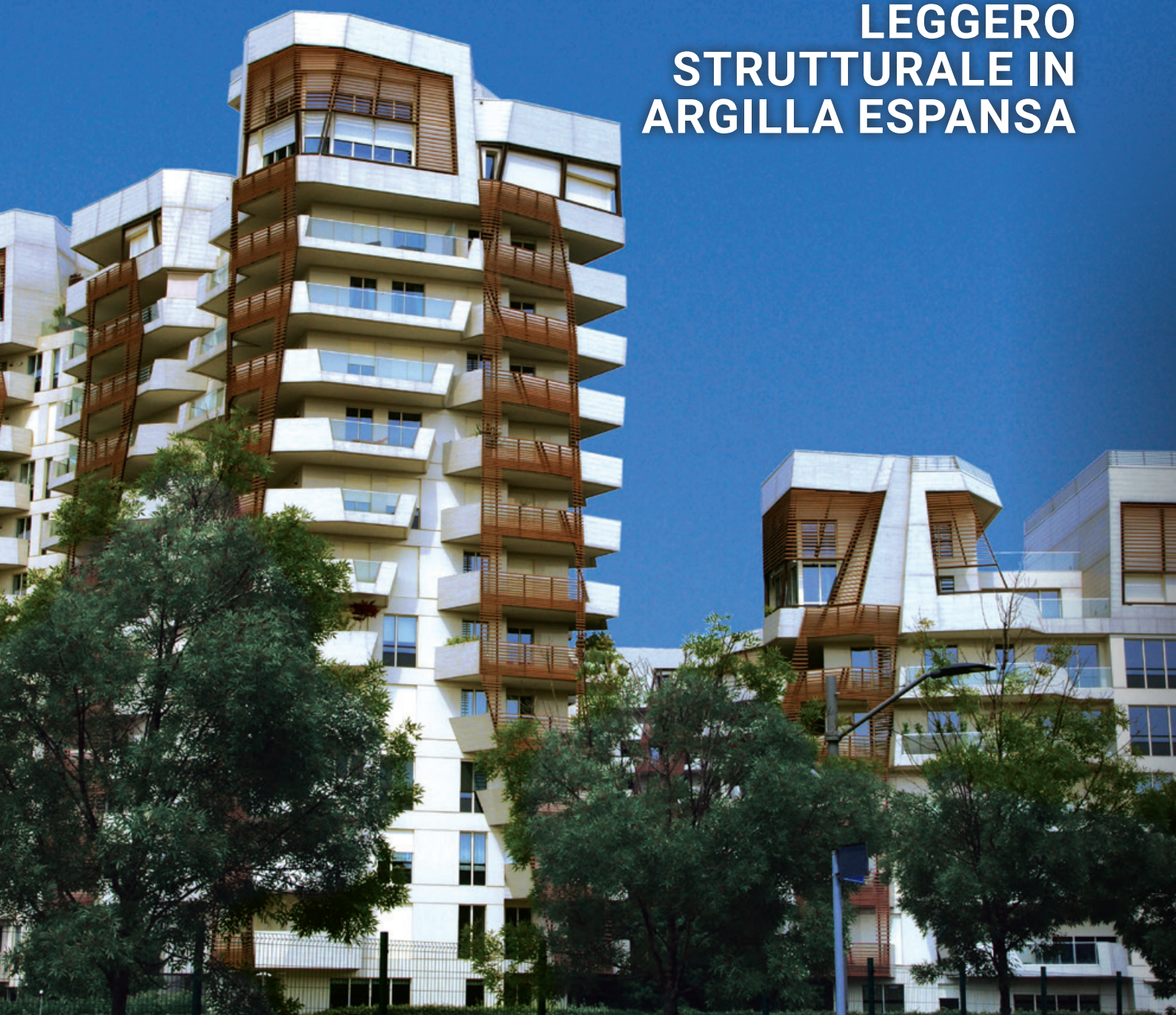


CALCESTRUZZO

LEGGERO
STRUTTURALE IN
ARGILLA ESPANSA



Leca

soluzioni leggere e isolanti

Indice

Seguici su:



**Inquadra il QR code
sulle pagine per avere
contenuti extra.**

V Edizione aggiornata 06/2019.
© 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 infoleca@leca.it).

In copertina
City Life - Milano
Calcestruzzo leggero strutturale.
Massa volumica:
1.600 e 1.800 kg/m³.

Premessa	3
Introduzione	4
Applicazioni	6
L'argilla espansa Leca	8
Caratterizzazione fisica del Leca	10
Composizione del calcestruzzo	12
Reologia del calcestruzzo	14
Proprietà del calcestruzzo	15
La normativa	22
Regole per il calcolo	23
Il comportamento sismico delle strutture	24
Il comportamento antisismico dei solai	28
Il rinforzo statico	29
Consigli per la confezione	30
Consigli per la posa in opera	31
Esempi di mix design	32
Voci di capitolato premiscelati	33
Calcestruzzi leggeri strutturali	34
Connettori CentroStorico	35

Premessa

La presente pubblicazione, giunta alla sua **V edizione**, si rinnova alla luce del sempre crescente interesse per il prodotto e dei rinnovati riferimenti normativi:

- nuove **Norme Tecniche per le Costruzioni** (D.M. 17.01.2018, NTC, pubblicate in Gazzetta n. 42 del 20.02.2018, s.o. n.8, in vigore dal 22.03.2018).
 - nuove **Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche** (Circolare 21.01.2019, n. 7 C.S.LL.PP.).
- L'obiettivo della monografia tecnica è quello di svolgere il ruolo di guida per i professionisti del settore che progettano e costruiscono con calcestruzzi leggeri strutturali.

All'interno del documento sono trattate le principali caratteristiche e prestazioni dei calcestruzzi leggeri strutturali in argilla espansa, i loro molteplici campi d'impiego, i riferimenti normativi e le modalità di confezionamento e posa in opera.

Per un migliore approfondimento di carattere scientifico, definizione delle regole di calcolo ed esempi applicativi Laterlite ha redatto in collaborazione con i **professori Sanpaolesi e Formichi dell'Università di Pisa** il testo dal titolo **"Calcestruzzo leggero strutturale di argilla espansa"** (disponibile online su Leca.it).

Un ulteriore approfondimento sul tema del comportamento sismico di strutture in calcestruzzo con aggregati leggeri è inoltre trattato nel documento **"Il comportamento sismico di strutture in calcestruzzo leggero"** redatto in collaborazione con Lombardi Ingegneria srl, Ing. Carlo Beltrami, e l'Eucentre di Pavia, Professori Andreas Manoli e Tim Sullivan, oltre che nella guida tecnica 2018 **"Consolidamento statico e antisismico dei solai"**, disponibili entrambi su Leca.it.



Per approfondimenti sul comportamento antisismico del calcestruzzo e sul consolidamento dei solai si rimanda allo specifico documento di approfondimento disponibile gratuitamente su Leca.it



Calcestruzzo leggero strutturale di argilla espansa, redatto dai professori Sanpaolesi e Formichi.



Il comportamento sismico di strutture in calcestruzzo leggero, redatto da Eucentre Pavia.

Introduzione



**POLITECNICO
DI MILANO**



EUCENTRE
European Centre for Training and Research in Earthquake Engineering



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI BERGAMO**

Con l'esperienza maturata in oltre 40 anni di applicazioni in ambito strutturale e anche grazie alla 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 Laterlite ha sviluppato numerose soluzioni per l'applicazione dei calcestruzzi leggeri strutturali sia nel comparto delle nuove costruzioni (interventi in edilizia e nelle infrastrutture) che nell'ambito della ristrutturazione/riqualificazione delle costruzioni esistenti. Particolare importanza rivestono gli interventi sulle strutture portanti orizzontali, nei termini di sistemi tecnici certificati per il consolidamento e rinforzo leggero dei solai sia dal punto di vista statico che antisismico.

Requisiti fondamentali del calcestruzzo leggero strutturale

I calcestruzzi leggeri sono conglomerati cementizi nei quali tutto, o una parte, dell'aggregato naturale è sostituito da aggregati leggeri con lo scopo principale di ridurre la massa volumica. L'argilla espansa è un aggregato leggero, di origine minerale, prodotto industrialmente, e le cui caratteristiche possono quindi essere modificate per ottimizzare le prestazioni dei conglomerati con finalità ed impieghi differenti.

Modulando la massa volumica, la tipologia dell'argilla espansa utilizzata (Leca normale e/o Leca strutturale) e la percentuale di sostituzione dell'aggregato ordinario è possibile ottenere calcestruzzi con massa volumica e resistenze differenti, variabili in relazione alle esigenze progettuali. È così possibile ottenere:

- betoncini leggeri isolanti a struttura aperta: massa volumica 600 - 1.000 kg/m³;
- conglomerati cementizi a struttura chiusa: massa volumica 1.000 - 1.400 kg/m³;
- calcestruzzi leggeri per impieghi strutturali: massa volumica 1.400 - 2.000 kg/m³.

Nell'ambito di utilizzo dei calcestruzzi di aggregati leggeri per impieghi strutturali, in accordo al D.M. 17/01/2018 (NTC 2018) e relativa Circolare esplicativa, i calcestruzzi di argilla espansa seguono le seguenti specifiche:

- aggregato leggero di origine minerale conforme a UNI EN 13055-1:2016 ;
- massa volumica massima: 2.000 kg/m³;
- massa volumica minima: 1.400 kg/m³;
- massa volumica minima su solai di nuova costruzione in lamiera d'acciaio-calcestruzzo: 1.800 kg/m³ (nel caso dei solai esistenti, si può derogare alla prescrizione della Normativa sulla massa volumica minima ammessa di 1.800 kg/m³, in accordo alla Sentenza del Consiglio di Stato n° 2458/2013);
- classe di resistenza minima: LC 16/18 (cilindrica/cubica);
- classe di resistenza minima in zona sismica: LC 20/22 (cilindrica/cubica);
- classe di resistenza massima: LC 55/60 (cilindrica/cubica).

I calcestruzzi strutturali leggeri possono essere realizzati direttamente in cantiere, confezionati in centrale di betonaggio o presso l'impianto di prefabbricazione e acquistati pronti all'uso in sacchi premiscelati.

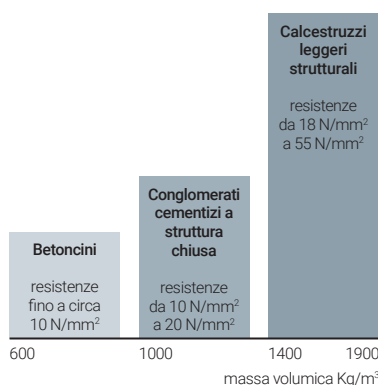


Diagramma indicativo dell'andamento delle resistenze cubiche in funzione della massa volumica.



Calcestruzzi strutturali con argilla espansa Leca.

Calcestruzzi premiscelati in sacco

Per applicazioni con specifiche esigenze cantieristiche (soprattutto in ambito di ristrutturazione e in centri storici) e per interventi di ridotte dimensioni, i calcestruzzi strutturali leggeri sono disponibili anche premiscelati in sacco.

Prodotto	Classe di massa volumica	Resistenza caratteristica a compressione cubica	Classe di resistenza
LecaCLS 1400	D 1,5 (ca. 1400 kg/m ³)	R _{ck} 25 N/mm ²	LC 20/22
LecaCLS 1600	D 1,7 (ca. 1600 kg/m ³)	R _{ck} 35 N/mm ²	LC 30/33
LecaCLS 1800	D 1,9 (ca. 1800 kg/m ³)	R _{ck} 45 N/mm ²	LC 40/44
Calcestruzzo CentroStorico	D 1,6 (ca. 1500 kg/m ³)	R _{ck} 28 N/mm ²	LC 25/28
Calcestruzzo Rapido	D 1,5 (ca. 1400 kg/m ³)	R _{ck} 25 N/mm ²	LC 20/22
Calcestruzzo Fluido	D 1,9 (ca. 1800 kg/m ³)	R _{ck} 40 N/mm ²	LC 35/38



Applicazioni



L'utilizzo del calcestruzzo strutturale leggero ha una **vasta e interessante bibliografia** che spazia da importanti opere infrastrutturali (quali ponti e viadotti a lunga campata) a edifici multipiano, fino alla progettazione di grandi coperture e strutture off-shore. La **riduzione del carico permanente nelle strutture** in calcestruzzo permette infatti la **progettazione di strutture più snelle**, con la diminuzione delle dimensioni degli elementi portanti quali travi/pilastri e conseguentemente del carico in fondazione.

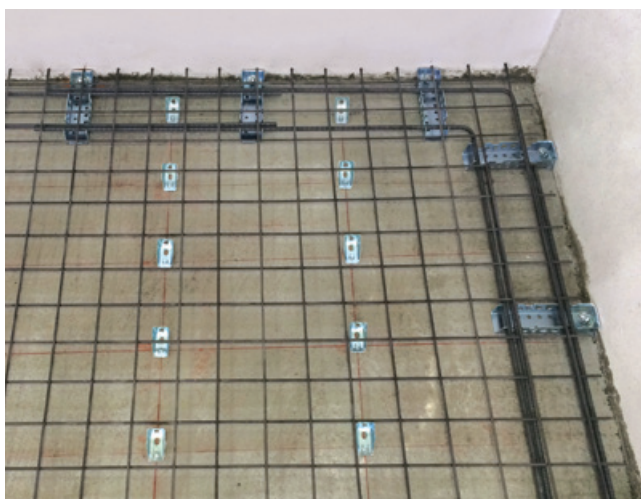
La riduzione della massa nelle opere strutturali fornisce inoltre un indubbio vantaggio nella progettazione sismica. Le azioni sismiche di origine inerziale generano infatti delle sollecitazioni di taglio e flessione sugli elementi strutturali in funzione della massa partecipata della sovrastruttura.

Una struttura di massa inferiore genererà una ridotta domanda di azioni sulle strutture portanti, sollecitate quindi da momenti flettenti e forze di taglio minori giungendo così ad una maggior ottimizzazione in termini di sezione o di armature.



Ristrutturazioni e sopraelevazioni

Gli interventi di ristrutturazione riguardano **solai, pilastri, muri portanti, cordoli, solette, scale, strutture su mensola**, utili da alleggerire per non gravare su strutture e fondazioni preesistenti. La significativa riduzione di peso proprio del calcestruzzo fino a 1 ton per m³, a parità di resistenza meccanica, rende disponibili maggiori carichi accidentali o sovraccarichi utili.



Consolidamento solai esistenti

Si inseriscono in quest'ottica gli interventi di recupero dei solai esistenti in legno, acciaio e laterocemento in cui è necessario l'utilizzo di un calcestruzzo strutturale che realizzi il consolidamento senza sovraccaricare eccessivamente la struttura, in abbinamento a sistemi di connessione (meccanica e chimica), sfruttando la tecnica della soletta mista collaborante.

Il consolidamento statico della struttura portante orizzontale contribuisce così, in abbinamento a una connessione perimetrale, a migliorare la sicurezza antisismica dell'edificio.

Getti strutturali

Nelle strutture in cui il peso proprio costituisce la componente predominante dei carichi di esercizio (ponti a lunga campata, tegoli di copertura, grossi pannelli prefabbricati, solai con ampie luci, passerelle pedonali, ecc..) l'utilizzo di un calcestruzzo leggero permette di realizzare strutture più snelle con sezioni ridotte e quindi minori quantitativi di calcestruzzo e di armatura. Ne risultano opere esteticamente più gradevoli oltre che più economiche.



Costruzioni soggette a rilevanti azioni orizzontali

Nelle strutture soggette ad azioni orizzontali, in particolare il sisma ma anche il vento, alleggerire significa ridurre le azioni sugli elementi portanti. Ne consegue una risposta strutturale attenuata, a tutto vantaggio della sicurezza statica dell'edificio.



Strutture prefabbricate

Nelle strutture prefabbricate al **benefico effetto post-tensionamento**, alla leggerezza (specialmente dei tegoli di copertura) e all'isolamento termico e acustico (pannelli e barriere) si unisce l'**economia dei trasporti**.



Strutture su terreni a scarsa portanza

La riduzione di peso della struttura restituisce in questi casi **significativi risparmi nei costi di fondazione**; in alternativa, a parità di peso totale, è possibile realizzare strutture di maggiori dimensioni.



L'argilla espansa Leca



Il ciclo produttivo del Leca

L'argilla espansa è un aggregato leggero di origine minerale che si ottiene dalla cottura, in speciali forni rotanti, di particolari argille presenti in natura.

Il processo produttivo si articola in più fasi e ha inizio con l'estrazione dell'argilla dalla cava e con la sua stagionatura all'aperto per lunghi periodi.

L'esposizione alle condizioni climatiche e meteorologiche effettua una prima "pre-lavorazione" naturale dell'argilla.

Una successiva lavorazione industriale, attraverso molazze, porta il materiale alle condizioni di finezza e purezza ideali per la cottura. Attraverso il passaggio in un forno rotante l'argilla cruda, incontrando temperature sempre maggiori, espande nella fase semi-fluida in forma di palline tondeggianti, per l'azione combinata dei gas che si sviluppano al suo interno e del movimento rotatorio. **Da 1 m³ di argilla si possono ottenere fino a 5 m³ di argilla espansa.**

La ricerca, la tecnologia e l'esperienza permettono di controllare il grado di espansione in modo da ottimizzare la qualità del prodotto finale.

Il materiale incandescente viene quindi estratto dal forno e raffreddato attraverso un "letto fluido" fatto di correnti d'aria che ne procura l'ossidazione e la clinkerizzazione della scorsa esterna.

Si completa quindi il ciclo produttivo dell'argilla espansa con l'acquisizione della sua **caratteristica fondamentale: un nucleo interno poroso, che garantisce la leggerezza e l'isolamento termico, ed una scorza esterna dura che garantisce la resistenza.** Operando sulle temperature, sulla rotazione e su altri parametri è possibile controllare, entro certi limiti, la massa volumica e la curva granulometrica del prodotto finale.

Prodotto naturale ed ecobiocompatibile

L'origine naturale del prodotto, unitamente ad un processo produttivo rispettoso dell'ambiente, permette all'argilla espansa di essere un prodotto ecobiocompatibile e certificato per applicazioni in Bioedilizia.

Il Leca è certificato Anab (Associazione Nazionale per l'Architettura Ecologica) e Icea (Istituto per la certificazione Etica e Ambientale) dal 2006 e prima ancora, dal 2002, da ANAB-IBO-IBN come prodotto da costruzione naturale e orientato ad impieghi in costruzioni che rispettino l'ambiente.

Per quanto riguarda il ciclo produttivo, Leca è prodotto impiegando le migliori tecnologie disponibili (BAT – Best Available Technology) per la migliore efficienza nell'intero processo.

I principali stabilimenti di produzione (Parma e Lentella) hanno ottenuto infatti la certificazione ambientale europea UNI EN ISO 14001 e utilizzano combustibili alternativi e biomasse in sostituzione dei combustibili fossili, riducendo in tal modo il consumo delle fonti non rinnovabili e le emissioni globali di CO₂.

Laterlite è socio del GBC Italia (certificazione Leed).



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).**

Leca e Leca Strutturale

Il calcestruzzo è un materiale non omogeneo costituito da una miscela di legante idraulico e acqua (la pasta cementizia) e dagli aggregati. Può quindi essere considerato come un materiale composito nel quale la pasta di cemento ha il ruolo di matrice, e gli inerti quella di inclusioni. Ne deriva che le proprietà del calcestruzzo indurito dipendono da diversi meccanismi resistenti quali le proprietà della matrice cementizia, dal legame matrice-inerti nonché dalle caratteristiche di resistenza degli inerti stessi.

Nei calcestruzzi tradizionali la resistenza dei materiali lapidei è maggiore di quella della pasta e quindi le caratteristiche del calcestruzzo indurito dipendono primariamente dalle proprietà della matrice cementizia. Risulta infatti evidente, dalla rottura di un provino di calcestruzzo tradizionale, che le linee di frattura attraversano la pasta cementizia "scorrendo sugli aggregati" che rimangono integri.

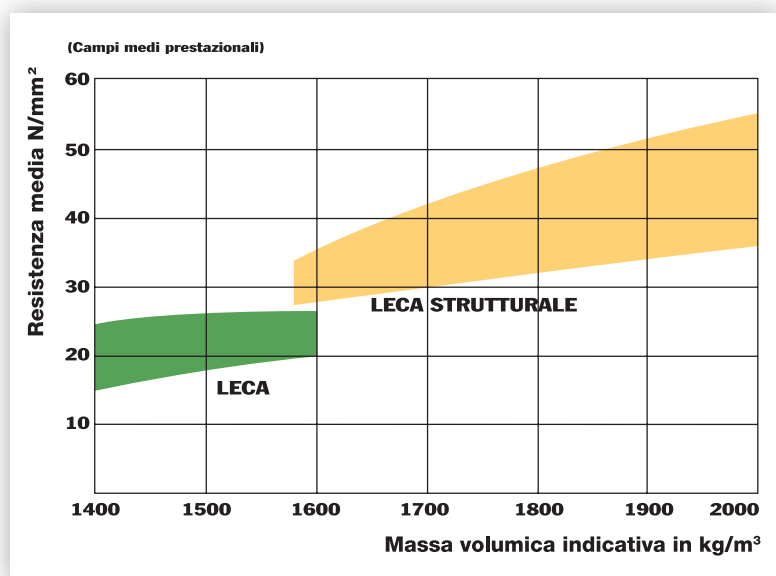
Nei calcestruzzi leggeri strutturali invece è l'aggregato ad avere la minor resistenza: rompendo un provino di calcestruzzo leggero si osserva che la rottura interessa i grani di aggregato.

È quindi importante che il calcestruzzo strutturale leggero, in funzione della resistenza finale da garantire, venga prodotto impiegando aggregati leggeri il più possibile resistenti:

- Leca "normale": per betoncini leggeri ed isolanti e calcestruzzi con resistenze R_{ck} sino a 25 MPa.
- Leca "strutturale": per calcestruzzi con resistenze caratteristiche cubiche R_{ck} sino a 60 MPa.

Il Leca strutturale, rispetto al "normale" Leca, è caratterizzato da un grado di espansione inferiore, da un nucleo poroso interno meno espanso e da una struttura esterna clinkerizzata più spessa e resistente. Questa differente struttura dei granuli conferisce a Leca Strutturale un peso specifico maggiore e una resistenza alla frantumazione dei granuli decisamente superiore.

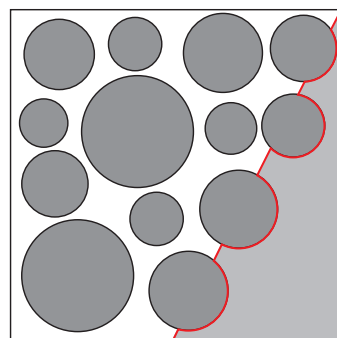
Campi medi prestazionali dei calcestruzzi con Leca e Leca Strutturale



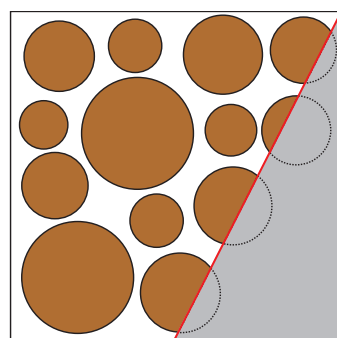
Caratteristiche tecniche

Leca	Leca Granulare			Leca Strutturale Granulare		
Denominazione	0-2	2-3	3-8	0-5	5-15	0-15
Massa volumica in mucchio kg/m³ (circa)	680	480	380	720	600	700
Resistenza alla frantumazione dei granuli N/mm²	≥ 5,0	≥ 3,0	≥ 1,5	≥ 12,0	≥ 5,0	≥ 9,0
Conducibilità termica λ certificata W/mK	0,12	0,10	0,09	0,13	0,12	0,13
Reazione al fuoco	Euroclasse A1 (Incombustibile)					

Per informazioni più dettagliate e aggiornate richiedere all'Assistenza Tecnica Laterlite.



A. Calcestruzzo tradizionale
Rottura della pasta cementizia.



B. Calcestruzzo leggero
Rottura dell'aggregato.



Leca



Leca Strutturale

Granulo di Leca (in alto) e Leca Strutturale (in basso): la struttura porosa del materiale costituente il granulo è racchiusa in una scorza dura e resistente.



Caratterizzazione fisica del Leca

Caratteristiche tecniche

Gli aggregati leggeri di origine minerale utilizzati per il confezionamento di calcestruzzi per uso strutturale devono essere conformi alla **Norma di prodotto UNI EN 13055-1: 2016**.

In particolare, deve essere dichiarata dal produttore, in conformità all'Appendice A della suddetta Norma, la resistenza alla frantumazione dell'aggregato leggero la quale influenza in modo significativo la resistenza a compressione del calcestruzzo leggero (Circolare 11 Febbraio 2019 par. C 4.1.12). L'aggregato leggero deve quindi essere provvisto di **marcatura CE in sistema di valutazione e verifica della costanza di prestazione 2+**, ovvero con ente certificatore esterno che ne comprovi i valori dichiarati, in accordo a quanto prescritto dalle NTC 2018 par. 11.2.9.2.

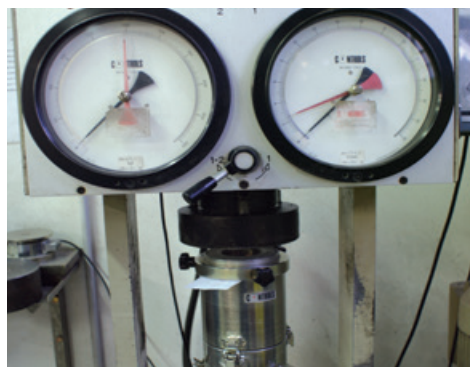
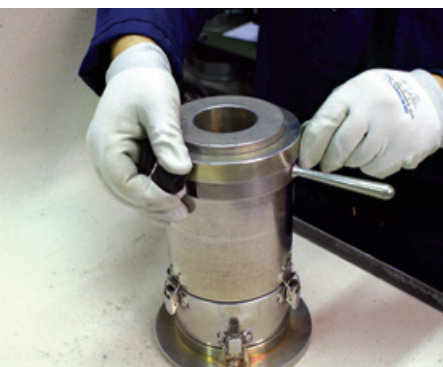
Resistenza alla frantumazione dei granuli

La "resistenza alla frantumazione in mucchio" dei granuli è la **pressione necessaria per imprimere una deformazione prestabilita a un campione normato di aggregato leggero**, in accordo alla norma di prodotto **UNI EN 13055-1:2016**. Viene pertanto misurata una forza necessaria a introdurre un pistone sotto pressione in un cilindro di acciaio specificato nel quale è stato inserito un campione preparato di aggregato leggero compattato mediante vibrazione. I valori di riferimento per i diversi tipi di argilla espansa Leca sono:

Leca Strutturale	Resistenza alla frantumazione dei granuli [N/mm ²]
Leca 0-2	≥ 5,0
Leca 2-3	≥ 3,0
Leca 3-8	≥ 1,5
Leca Strutturale 0-15	≥ 9,0



La resistenza alla frantumazione dell'aggregato influisce sulla resistenza a compressione del calcestruzzo leggero strutturale: appare evidente come, ben modulando la scelta degli aggregati leggeri, si possano ottenere calcestruzzi con elevati valori di R_{ck} .



Massa volumica

L'aggregato leggero è identificabile dalle seguenti definizioni:

- **massa volumica dell'aggregato in mucchio**, ovvero la massa tipica dell'aggregato quando si trova sfuso in mucchio;
- **massa volumica dei granuli**, ovvero il rapporto tra massa del granulo essiccato e il suo volume. In prima approssimazione, è corretto stimare la **massa volumica media dei granuli moltiplicando per circa 1,7 la massa volumica in mucchio degli stessi**; entrando nel dettaglio sperimentale, i valori di massa volumica da considerarsi in fase di confezionamento della miscela, sono riportati in tabella.

Coefficiente di imbibizione

L'aggregato leggero, proprio per la sua natura costitutiva, ha la facoltà di assorbire acqua durante le fasi di confezionamento del calcestruzzo e trasporto in autobetoniera; tale caratteristica va tenuta debitamente in considerazione al fine della corretta lavorabilità finale dell'impasto.

Il coefficiente di imbibizione dell'argilla espansa varia in funzione delle varie tipologie di prodotto, Leca "tradizionale" e Leca "strutturale" come di seguito riportati:

Argilla espansa	Massa volumica media granuli (Kg/m ³)	Assorbimento	
		a 30 minuti	a 1 giorno
Leca 0-2	890	≤ 12 %	≤ 15 %
Leca 2-3	790	≤ 12 %	≤ 15 %
Leca 3-8	680	≤ 12 %	≤ 15 %
Leca Strutturale	1150	≤ 5 %	≤ 15 %



Composizione del calcestruzzo

Legante

Le caratteristiche prestazionali di un calcestruzzo leggero possono essere fortemente influenzate dalla tipologia dell'aggregato leggero che lo costituisce ma, come accade anche nel calcestruzzo tradizionale, **grande influenza ha la qualità della pasta cementizia**. Tutte le prescrizioni tecniche e gli accorgimenti tecnologici che costituiscono le corrette proporzioni del tipo e del dosaggio di cemento nel calcestruzzo tradizionale vanno tenute in considerazione anche nel confezionamento dei calcestruzzi strutturali leggeri.

La scelta dei vari tipi di cemento in funzione delle loro proprietà, la dipendenza della resistenza dal rapporto acqua/cemento, i quantitativi d'acqua in funzione dalla massima dimensione dell'aggregato grosso e l'utilizzo di additivi, assumono la stessa importanza anche nel caso di calcestruzzi leggeri.

Aggregati

Il confezionamento di un calcestruzzo leggero può avvenire modulando la sostituzione dell'aggregato tradizionale con l'aggregato leggero di argilla espansa.

Per garantire curve granulometriche idonee ad un conglomerato con ottimale assortimento degli aggregati è preferibile integrare la curva dell'aggregato leggero (Leca tradizionale o Leca Strutturale) con inerte tradizionale fine. L'aggiunta di sabbie fini (0-3 o 0-4), naturali o di frantumazione, chiude l'assortimento granulometrico (che, per quanto riguarda l'argilla espansa per calcestruzzi, è generalmente povero di parti fini) e consente così di realizzare calcestruzzi a struttura chiusa, compatti, resistenti e durevoli.

Le corrette proporzioni fra il quantitativo di sabbia e quello di aggregato leggero Leca consentono anche di calibrare la massa volumica e la resistenza del calcestruzzo.

Il confezionamento dei calcestruzzi strutturali leggeri non esclude l'inserimento di aggiunte minerali, collaboranti o meno con il legante. Fumo di silice, ceneri volanti, calcare e altri filler sono consigliati per aumentare la reologia dell'impasto specialmente per calcestruzzi leggeri da pompare e per calcestruzzi leggeri autocompattanti (tecnologia SCC - Self Compacting Concrete).

Aria

L'aria occlusa contribuisce alla lavorabilità del calcestruzzo e alla sua resistenza al gelo; tuttavia ne riduce la resistenza a compressione. Un eccesso di aria inglobata è generalmente segnalato dal riscontro di una massa volumica del calcestruzzo, a fresco, inferiore alle attese.

La prova che generalmente viene effettuata al momento del getto, per individuare i quantitativi d'aria occlusa nella pasta cementizia, si svolge con l'utilizzo di un porosimetro. Tale strumento, forzando a pressione dei quantitativi misurabili di aria dentro ad un provino di calcestruzzo fresco, ne quantifica i vuoti residui.

Questo tipo di prova non è significativo per i calcestruzzi leggeri strutturali con argilla espansa. L'aria in pressione si insinua infatti nelle microcavità contenute nei grani di argilla espansa influenzando così il risultato.



Acqua

L'aggregato leggero di argilla espansa oltre ad avere un proprio contenuto di umidità in condizioni di equilibrio con l'ambiente, può anche assorbire una certa quantità d'acqua durante le fasi di mescolazione. È necessario tenere conto di entrambi questi aspetti nella determinazione dell'acqua necessaria all'impasto, oltre che dell'umidità contenuta nell'aggregato tradizionale.

In sintesi, al quantitativo d'acqua necessario per la lavorabilità richiesta, si deve aggiungere l'acqua assorbita dagli aggregati leggeri e sottrarre l'acqua corrispondente al contenuto di umidità degli aggregati (leggeri e normali) al momento dell'impasto.

Si definiscono:

- **acqua efficace:** contenuta nella pasta cementizia, condiziona la lavorabilità e la resistenza del calcestruzzo leggero. Aumentando il quantitativo di acqua efficace si ottengono, a parità di dimensione massima dell'aggregato grosso, calcestruzzi più lavorabili e, a parità di quantitativo di cemento, resistenze inferiori. Valgono ovviamente anche i viceversa (vedi schema nella pagina a lato);
- **acqua assorbita** dall'aggregato leggero nel periodo di tempo tra miscelazione e posa in opera. Le relazioni elementari indicate nello schema a lato possono essere modificate introducendo nell'impasto, idonei additivi riduttori d'acqua (fluidificanti, superfluidificanti, ecc...).

A titolo orientativo si riportano informazioni circa il **contenuto di umidità dell'argilla espansa in mucchio in alcune situazioni tipiche**, espresso come percentuale del peso proprio a secco in mucchio:

Condizione del materiale	Leca	Leca Strutturale
Secco	0-2%	0-1%
Umido	2-8%	1-4%
Bagnato	8-15%	4-7%
Saturo	>15%	> 7%

Risultati sperimentali condotti da Laterlite, svoltisi presso i Laboratori Enco, hanno individuato che le condizioni di saturazione a superficie asciutta (s.s.a.), indispensabili per il calcolo del contenuto di acqua efficace al fine del proporzionamento della miscela, si raggiungono con un'umidità di circa il **7%** per Leca Strutturale.

Additivi

L'impiego dei più comuni additivi presenti sul mercato del calcestruzzo preconfezionato e prefabbricato non vede alcun tipo di limitazione né di carattere chimico-fisico, né di carattere tecnologico, nell'ambito dei calcestruzzi strutturali leggeri. Fluidificanti, superfluidificanti, aeranti, acceleranti, antigelo e tutti gli altri prodotti della chimica per il calcestruzzo possono essere introdotti nel mix design secondo i dosaggi prescritti dal produttore.

I maggiori produttori di additivi forniscono prodotti specifici per l'impiego nei calcestruzzi leggeri. Come per i conglomerati tradizionali è sempre consigliabile una preventiva prova sperimentale per il controllo dell'efficacia "quantitativo di additivo - effetto sull'impasto".

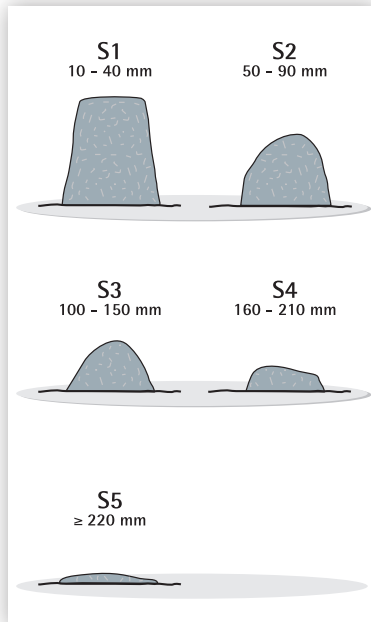
Nell'esecuzione dell'impasto è consigliabile aggiungere gli additivi al termine del mescolamento per evitarne l'assorbimento da parte degli aggregati.

Acqua efficace	Lavorabilità (a pari D _{max})	Resistenza (a pari Cemento)
		
		

Andamento qualitativo della lavorabilità e della resistenza al variare del quantitativo di acqua efficace nell'impasto.



Reologia del calcestruzzo



Classi di consistenza.

Lavorabilità

La consistenza del calcestruzzo leggero strutturale può essere determinata con le medesime classi (da S1 a S5) del calcestruzzo tradizionale (UNI EN 12350-2). Talvolta però, specialmente per massa volumica inferiori a 1800 Kg/m³ si verifica che, pochi istanti dopo che il calcestruzzo viene sformato dal cono di Abrams, si assiste ad un cedimento dovuto a leggera rottura per taglio. Questo comportamento è giustificato dal fatto che la prova di slump sfrutta il peso proprio del provino per valutarne l'assestamento "a gravità". **Nei calcestruzzi leggeri il diverso peso del calcestruzzo rispetto al tradizionale condiziona l'attendibilità della prova.** Per tale ragione si preferisce spesso valutare il grado di lavorabilità con la **prova di spandimento** in cui si valuta l'aumento (percentuale o assoluto) del diametro di una focaccia di calcestruzzo sottoposta a 15 colpi della piastra su cui poggia. Di seguito la classificazione secondo UNI EN 206-1.

Classi di abbassamento (Slump)

Classe	S1	S2	S3	S4	S5	
Abbassamento al cono (mm)	10 ÷ 40	50 ÷ 90	100 ÷ 150	160 ÷ 210	≥ 220	
Classi di spandimento	8-15%	4-7%				
Classe	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Diametro spandimento (mm)	≥ 340	350 ÷ 410	420 ÷ 480	490 ÷ 550	490 ÷ 550	≥ 630

Segregazione

Nei calcestruzzi ordinari, per un errato dosaggio degli ingredienti nelle fasi di proporzionamento della miscela, si può assistere al fenomeno della segregazione in cui si verifica che, allo stato fresco, l'aggregato grosso tende a depositarsi sul fondo e la parte più fine (cemento e aggregati fini) tende a risalire alla superficie. In questi casi oltre a non ottenere un materiale omogeneo si hanno anche importanti e a volte dannosi fenomeni di bleeding (rifiuto dell'acqua e delle parti fini in superficie) e di "spolvero" della superficie del getto indurito. Nei calcestruzzi strutturali leggeri si assiste, sempre in caso di dosaggi scorretti, ad una segregazione che vede "galleggiare" l'aggregato costituito da argilla espansa che ha massa volumica inferiore a quella delle parti fini. **In entrambi i casi le problematiche di segregazione sono normalmente evitate con un corretto dosaggio degli elementi costituenti l'impasto (in particolare modo l'acqua).**

Vibrazione

Per ottenere le prestazioni meccaniche e di durabilità prescritte è necessario che il calcestruzzo sia accuratamente compattato mediante l'espulsione dell'aria occlusa in eccesso. **Come per i calcestruzzi normali anche per i calcestruzzi leggeri si ricorre alla compattazione del getto mediante vibrazione.**

L'operazione di vibrazione del calcestruzzo leggero, se indotta mediante vibratori ad immersione, va effettuata con l'**attenzione di non eccedere con l'azione dell'ago nel medesimo punto** della miscela giacché la minore massa del calcestruzzo stesso comporta una minore diffusione della vibrazione.



Prova con cono di Abrams.



Prova di spandimento.

Proprietà del calcestruzzo

Le caratteristiche tecniche e prestazioni meccaniche dei calcestruzzi strutturali leggeri sono influenzate dalla loro composizione, dalla massa volumica e dal tipo di aggregato leggero utilizzato.

I criteri generali delle regole di calcolo dei calcestruzzi leggeri sono perfettamente coerenti con quelli dei calcestruzzi ordinari. Sarà opportuno adottare, per il calcolo delle prestazioni dei calcestruzzi leggeri, alcuni coefficienti correttivi dipendenti dalla massa volumica del conglomerato.

Quanto di seguito proposto è in accordo a quanto disposto dalla normativa nazionale, in particolare il D.M. 17 Gennaio 2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni" e la Circolare 11 Febbraio 2019. Tutte le grandezze caratteristiche dei calcestruzzi alleggeriti riportano il pedice l ("leggero").

I calcestruzzi di aggregati leggeri devono essere caratterizzati e specificati primariamente in ragione della classe di resistenza e di massa per unità di volume.



Provino cubico.

Classi di resistenza del calcestruzzo

Il calcestruzzo è classificato in base alla sua **resistenza caratteristica a compressione cilindrica** f_{lck} (valutata su cilindri del diametro di 150 mm e altezza di 300 mm) o alla **resistenza caratteristica cubica** R_{ck} (valutata su cubi di 150 mm di lato). Per i calcestruzzi ordinari il rapporto tra le due resistenze è mediamente pari a 0,83, mentre per i **calcestruzzi alleggeriti tale rapporto vale invece 0,90**. Il valore medio della resistenza a compressione (f_{lcm}), per calcestruzzi con $f_{lck} \geq 20 \text{ N/mm}^2$, può essere stimato pari a $f_{lcm} = f_{lck} + 8 \text{ N/mm}^2$.

Le classi di resistenza ammesse per impieghi strutturali sono dalla LC 16/18 fino alla LC 55/60, secondo la classificazione di cui alla UNI EN 206:2016, riportata nella tabella C4.1.V. della Circolare Applicativa 11 Febbraio 2019 (par. C4.1.12).

Classe di resistenza a compressione	Resistenza caratteristica cilindrica minima f_{lck} (N/mm ²)	Resistenza caratteristica cubica minima R_{lck} (N/mm ²)
LC 16/18	16	18
LC 20/22	20	22
LC 25/28	25	28
LC 30/33	30	33
LC 40/44	35	38
LC 45/50	40	44
LC 50/55	45	50
LC 55/60	50	55
LC 55/60	55	60

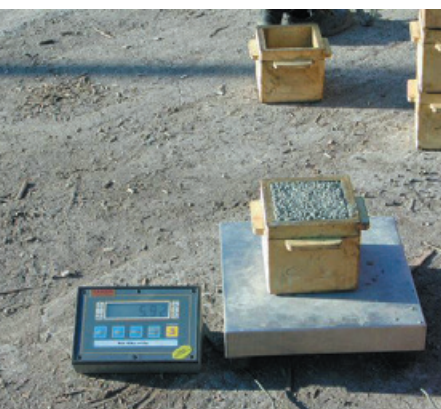


Pressa per determinazione resistenza a compressione.

Per la progettazione e la costruzione di opere soggette all'azione sismica è ammesso l'uso di conglomerati di classe pari o superiore a LC 20/22 (NTC 2018 par. 7.4).



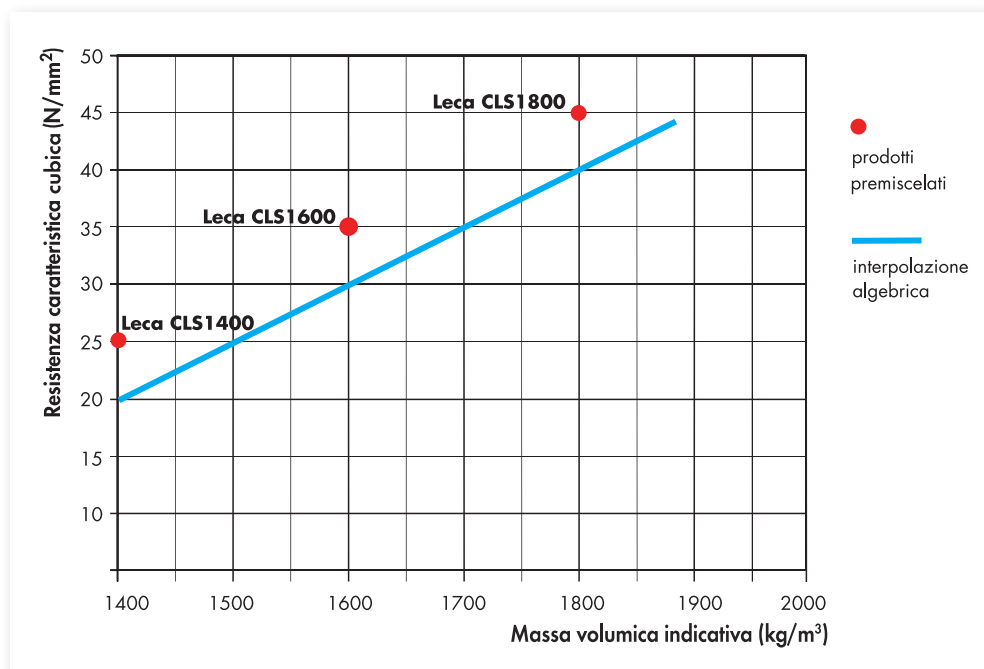
Cubetto sottoposto a rottura.



Misura della massa volumica a fresco.

Per variare le resistenze meccaniche dei calcestruzzi strutturali leggeri è possibile agire sul quantitativo e sul tipo di cemento, sul rapporto acqua cemento e sugli altri fattori che normalmente influiscono nel conglomerato ordinario, ma anche sul tipo di argilla espansa utilizzata. La resistenza caratteristica a compressione aumenta via via utilizzando Leca e Leca Strutturale (scegliendo cioè materiali con più alta massa volumica e resistenza alla frantumazione dei granuli).

Indicazioni esemplificative sui valori di resistenza a compressione dei calcestruzzi di argilla espansa, riferiti alla massa volumica del calcestruzzo indurito, possono essere desunti dal seguente grafico.



Classi di massa volumica del calcestruzzo

Qualora il calcestruzzo venga classificato in base alla sua massa volumica dopo essiccamento in stufa secondo UNI EN 12390-7, si dovrà fare riferimento alle classi indicati nella norma UNI EN 206-1, o nella tabella C 4.1.VI della Circolare 11-2-2019, che rispetto alla UNI EN 206-1 definisce intervalli di massa volumica più fitti.

Nella tabella C.4.1.VI della Circolare esplicativa, sono indicati anche i valori di massa volumica da utilizzarsi per il calcolo del peso proprio delle strutture o dei sovraccarichi permanenti, nel caso di calcestruzzo semplice o armato.

Classe di massa per unità di volume	D1,5	D1,6	D1,7	D1,8	D1,9	D2,0
Intervallo di massa (Kg/m³)	$\rho \geq 1400$ $\rho \leq 1500$	$\rho \geq 1500$ $\rho \leq 1600$	$\rho \geq 1600$ $\rho \leq 1700$	$\rho \geq 1700$ $\rho \leq 1800$	$\rho \geq 1800$ $\rho \leq 1900$	$\rho \geq 1900$ $\rho \leq 2000$
Massa cls non armato (kg/m³)	1550	1650	1750	1850	1950	2050
Massa cls armato (kg/m³)	1650	1750	1850	1950	2050	2150
Classe	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Diametro spandimento (mm)	≥ 340	350 ÷ 410	420 ÷ 480	490 ÷ 550	490 ÷ 550	≥ 630

La massa volumica del calcestruzzo strutturale leggero deve essere non inferiore a 1400 kg/m³ e non superiore a 2000 kg/m³.

La riduzione di peso, assicurata da un calcestruzzo leggero strutturale, è particolarmente significativa ed importante nell'esecuzione di opere di ristrutturazione e nelle realizzazioni di strutture in elevazione.

In particolare, i premiscelati in sacco della gamma Leca CLS si dimostrano pratici e di facile impiego in interventi di recupero di edifici storici.

Ritiro

La sperimentazione condotta sui calcestruzzi leggeri al fine di determinare il valore della deformazione dovuta al ritiro indica che **nel primo periodo**, a partire dall'età del getto, **vi è una tendenza a sviluppare deformazioni inferiori rispetto a quelle relative ai calcestruzzi normali**. Tale valore dipende comunque da molti fattori quali la classe di resistenza del calcestruzzo, il rapporto acqua/cemento, la classe di massa volumica e la resistenza alla frantumazione.

A tempo infinito la deformazione totale dovuta al ritiro, per il calcestruzzo leggero ma anche per quello ordinario, ha due componenti: il ritiro da essiccazione e il ritiro autogeno.

La prima, più importante, è funzione dell'evaporazione dell'acqua dalla massa del calcestruzzo indurito, ed ha quindi uno sviluppo piuttosto lento; la seconda è principalmente legata alla resistenza del calcestruzzo e tende quindi a svilupparsi nei primi giorni del getto. Quest'ultima parte della deformazione assume particolare importanza nel caso dei calcestruzzi leggeri, nei quali l'apporto di acqua al processo di presa e indurimento da parte degli inerti è estremamente contenuto. Si potrà ottenere una riduzione significativa della quota autogena di deformazioni di ritiro utilizzando, per gli impasti, inerti leggeri saturi o parzialmente saturi.

In mancanza di sperimentazione diretta si potrà far riferimento ai seguenti valori per il ritiro finale $\epsilon_{lcs}(t_{\infty}, t_0)$, relativi al ritiro in ambiente con umidità relativa pari a circa 75%.

t_0	$\alpha \leq 20 \text{ cm}$	$\alpha \geq 60 \text{ cm}$
1 ÷ 7 gg	$0,39 \cdot 10^{-3}$	$0,32 \cdot 10^{-3}$
8 ÷ 60 gg	$0,35 \cdot 10^{-3}$	$0,32 \cdot 10^{-3}$
> 60 gg	$0,24 \cdot 10^{-3}$	$0,30 \cdot 10^{-3}$

dove:

t_0 = età del calcestruzzo a partire dalla quale si calcolano gli effetti del ritiro;

α = dimensione fittizia della sezione pari $\alpha = 2Ac/u$

Ac = area della sezione del conglomerato;

u = perimetro della sezione del conglomerato a contatto con l'atmosfera.

Per i valori intermedi della dimensione fittizia α si potrà interpolare linearmente

Viscosità

La viscosità del calcestruzzo, definita anche fluage o creep, è la deformazione in funzione del tempo in condizioni di carico permanente e va sommata alle deformazioni iniziali e per ritiro.

La deformazione viscosa è funzione dell'umidità dell'ambiente, delle dimensioni degli elementi, della resistenza e del modulo elastico del calcestruzzo.

In mancanza di sperimentazione diretta per calcestruzzi soggetti a sollecitazioni di compressione inferiori o uguali a $0,45 f_{ck}(t_0)$, si può assumere il seguente valore di riferimento per il coefficiente finale di viscosità:

$$\varphi(t_{\infty}; t_0) = \varphi \left[\frac{\rho}{2200} \right]^2 \eta_2$$

- φ è un coefficiente tabellato in funzione del tempo t_0 di messa in carico, della dimensione fittizia α , e dell'umidità relativa dell'ambiente;
- ρ è la massa volumica del conglomerato in kg/m^3 ;
- η_2 vale 1,0 ad eccezione per i calcestruzzi di classe LC < 16/18, per i quali vale 1,3.

Il coefficiente finale di viscosità per calcestruzzi in ambiente con umidità relativa pari a circa 75% vale:

t_0	$\alpha \leq 20 \text{ cm}$	$\alpha \geq 60 \text{ cm}$
1 ÷ 7 gg	2,7	2,1
8 ÷ 60 gg	2,2	1,9
> 60 gg	1,4	1,7

	LecaCLS 1600	LecaCLS 1800
3 gg.	60	100
7 gg.	227	150
14 gg.	320	190
21 gg.	407	300
28 gg.	460	340
60 gg.	520	390
90 gg.	640	499

Ritiro dei calcestruzzi Leca: dati sperimentali.



Pavimento industriale in copertura carrabile.

	LecaCLS 1600	LecaCLS 1800
3 gg.	210	133
7 gg.	330	178
14 gg.	420	210
21 gg.	550	260
28 gg.	650	338
60 gg.	875	490
90 gg.	940	575

Viscosità dei calcestruzzi Leca: dati sperimentali.



Modulo di Poisson

Il modulo di Poisson, per calcestruzzo non fessurato, varia tra i valori di 0,15 e 0,25. Ai fini del calcolo, si potrà far riferimento al valore medio $\nu = 0,20$.

Coefficiente di dilatazione termica

Il coefficiente di dilatazione termica per calcestruzzi con aggregati leggeri varia, in dipendenza della natura dell'aggregato, tra $4 \cdot 10^{-6}$ e $14 \cdot 10^{-6} \text{ C}^{-1}$.

Per gli scopi progettuali è corretto assumere, quale valore di riferimento per il coefficiente di dilatazione termica, $\lambda = 8 \cdot 10^{-6} \text{ C}^{-1}$.

Coefficiente di conducibilità termica

I valori di λ da utilizzare per il calcolo variano in relazione alla massa volumica del materiale, diminuendo con quest'ultima.

Per i calcoli possono essere adottati i valori di λ riportati nella tabella seguente (valori utili di calcolo):

Massa volumica del calcestruzzo leggero (kg/m^3)	Conducibilità termica λ (W/mK)
1400	0,50
1600	0,57
1800	0,85
2000	1,10

Calore specifico

Per i calcoli alle normali condizioni di temperatura, in accordo con la norma EN ISO 10456, è possibile adottare il valore di 1.000 J/kgK .

Reazione al fuoco e all'incendio

Conformemente a quanto riportato nella EN 206-1, punto 5.5.4 "Resistenza al fuoco", il calcestruzzo è classificato EUROCLASSE 0 e non necessita di prove specifiche. Per i calcestruzzi leggeri di argilla espansa si applicano i criteri di dimensionamento utilizzati per i calcestruzzi tradizionali esposti ad elevate temperature con le specifiche integrazioni riportate nel seguito. Per maggiori approfondimenti, si rimanda alla lettura del testo "Calcestruzzo Leggero Strutturale di argilla espansa" al Cap. 7.12, redatto dai professori Sanpaolesi e Formichi ed edito da Laterlite disponibile anche on-line su Leca.it.



Inquadra il
QR code
e scarica
la versione pdf.



Durabilità

Per garantire la vita utile di progetto richiesta per una struttura, devono essere prese adeguate disposizioni al fine di proteggere ogni elemento strutturale dalle azioni ambientali rilevanti.

Il raggiungimento di adeguati livelli di durabilità, nei confronti dei fattori ambientali che causano degrado del conglomerato e delle armature, è condizionato da molti fattori tra i quali:

- concezione strutturale;
- limitazione della fessurazione;
- classe di resistenza e massa volumica del conglomerato;
- dettagli costruttivi;
- procedure di esecuzione e relativi controlli di qualità;
- verifiche periodiche ed azioni programmate di manutenzione;
- misure speciali di protezione, quali l'impiego di acciai inossidabili, rivestimenti ecc...

Copriferro

Il copriferro, in accordo alle Norme Tecniche NTC2018, individua lo spessore del calcestruzzo che ricopre l'armatura più esterna.

Al fine della protezione delle armature dalla corrosione, lo strato di ricoprimento di calcestruzzo (copriferro) deve essere dimensionato in funzione dell'aggressività dell'ambiente e della sensibilità delle armature dalla corrosione, tenendo anche conto delle tolleranze di posa delle armature. A tale scopo si può far riferimento alla UNI EN 1992-1 (EC2).

I prospetti 4.4N e 4.5N (EC2 par. 4.4.1) riportano infatti i valori del **copriferro minimo $C_{min,dur}$** in riferimento ai requisiti di durabilità e in funzione della classe strutturale, per acciai da armatura ordinaria, in accordo alla EN 10080 e per acciai da precompressione.

Per calcestruzzi con aggregati leggeri, i valori di ricoprimento minimo dati dal prospetto 4.2 devono essere aumentati di 5 mm (EC2 par. 11.4).

Si riporta di seguito il prospetto con i valori di copriferro minimo da adottare nel caso di calcestruzzi strutturali leggeri (quindi già aumenti del valore di 5 mm, come richiesto al punto 11.4.2 dell'EC2), da noi elaborato con riferimento alla classe strutturale raccomandata S4 (vita utile di progetto 50 anni), e in funzione della classe di esposizione ambientale, sulla base delle indicazioni riportate nei prospetti 4.4 N e 4.5 N dell'EC2, rispettivamente nel caso di strutture in c.a. e in c.a.p.

Classi di esposizione							
$C_{min,dur}$	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
mm	15	20	30	35	40	45	50

Valori di $C_{min,dur}$ (copriferro minimo dovuto alle condizioni ambientali) per strutture in c.a.

Classi di esposizione							
$C_{min,dur}$	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
mm	15	30	40	45	50	55	60

Valori di $C_{min,dur}$ (copriferro minimo dovuto alle condizioni ambientali) per strutture in c.a.p.



Viadotto strada statale Isernia - Castel di Sangro (AQ)



Torre NET Center - Padova.

Classi di esposizione

Il livello di aggressività dell'ambiente, con riferimento al quale si dovranno operare le scelte progettuali più opportune per garantire la durabilità della struttura, è definito dalle classi di esposizione così come indicate dal prospetto 1 del punto 4.1 della UNI EN 11104 e della UNI EN 206-1 (prospetto 1 del punto 4.1) e riportate nella tabella seguente.



Denominazione della classe	Descrizione dell'ambiente	Esempi informativi di situazioni a cui possono applicarsi le classi di esposizione
1. Assenza di rischio di corrosione o attacco		
X0	Per calcestruzzo privo di armature o inserti metallici: tutte le esposizioni eccetto dove c'è gelo/disgelo, abrasione o attacco chimico. Per calcestruzzo con armatura o inserti metallici: molto asciutto	Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità dell'aria molto bassa
2. Corrosione indotta da carbonatazione		
XC1	Asciutto o permanente bagnato	Calcestruzzo all'interno di edifici con bassa umidità relativa. Calcestruzzo costantemente immerso in acqua.
XC2	Bagnato, raramente asciutto	Superfici di calcestruzzo a contatto con acqua per molto tempo. Calcestruzzo di molte fondazioni.
XC3	Umidità modesta	Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità relativa moderata oppure elevata. Calcestruzzo esposto all'esterno protetto dalla pioggia.
XC4	Ciclicamente bagnato ed asciutto	Superfici di calcestruzzo soggette al contatto con acqua, non nella classe di esposizione XC2.
3. Corrosione da cloruri esclusi quello provenienti dall'acqua di mare		
XD1	Umidità moderata	Superfici in calcestruzzo esposte a nebbia salina.
XD2	Bagnato, raramente asciutto	Piscine.
XD1	Umidità moderata	Superfici in calcestruzzo esposte a nebbia salina.
XD2	Bagnato, raramente asciutto	Piscine. Calcestruzzo esposto ad acque industriali contenenti cloruri.
XD3	Ciclicamente bagnato ed asciutto	Parti di ponti esposte a spruzzi contenenti cloruri. Pavimentazioni. Pavimentazioni di parcheggi.
4. Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare		
XS1	Esposto a nebbia salina ma non in contatto diretto con acqua di mare.	Strutture prossime oppure sulla costa.
XS2	Permanentemente sommerso.	Parti di strutture marine.
XS3	Zone esposte alle onde oppure alla marea.	Parti di strutture marine.
5. Attacco dei cicli gelo/disgelo con o senza sali disgelanti		
XF1	Moderata saturazione di acqua, senza impiego di agenti antigelo.	Superfici verticali di calcestruzzo esposte alla pioggia e al gelo.
XF2	Moderata saturazione di acqua, con uso di agente antigelo.	Moderata saturazione d'acqua, con uso di agente antigelo.
XF3	Elevata saturazione di acqua, senza agente antigelo.	Superfici orizzontali esposte alla pioggia e al gelo.
XF4	Elevata saturazione di acqua, con agente antigelo oppure con acqua di mare.	Strade ed impalcati da ponte esposti agli agenti antigelo.
6. Attacco chimico		
XA1	Ambiente chimico debolmente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	
XA2	Ambiente chimico moderatamente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	
XA3	Ambiente chimico fortemente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	

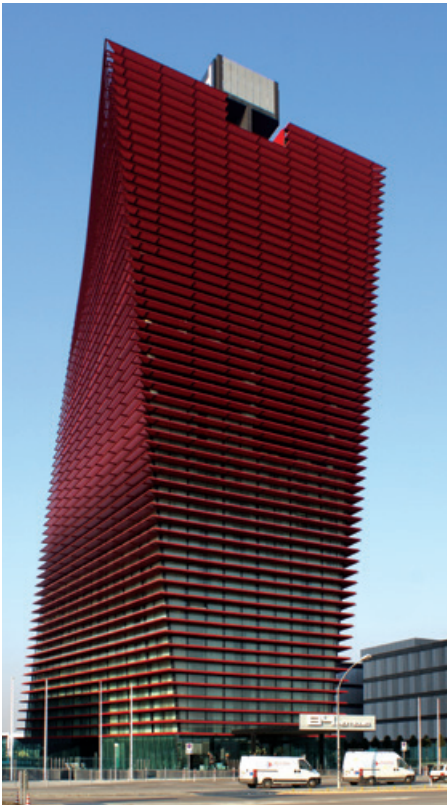
Tra le misure da adottare per garantire la durabilità, particolare rilievo assumono la definizione del minimo copriferro necessario e la specifica della minima classe di resistenza del calcestruzzo da impiegare in funzione della classe di esposizione della struttura in progetto.

Classe di resistenza minima del calcestruzzo in relazione alla classe di esposizione

Oltre alla definizione dei valori minimi del copriferro, un'ulteriore misura per la limitazione del rischio di corrosione delle armature, nonché del degrado del calcestruzzo, consiste nell'impiego di calcestruzzi con classe di resistenza via via crescente al crescere dell'aggressività dell'ambiente in cui la struttura di progetto di verrà a trovare.

Si riportano di seguito i valori estratti dalla Norma UNI EN 206-1, prospetto F.1 dell'Appendice F e dalla UNI EN 11104, prospetto 5:

Denominazione della classe	Resistenza a compressione caratteristica cubica
1. Assenza di rischio di corrosione o attacco	
X0	$R_{ck,min}=15\text{ MPa}$ (UNI EN 206 e UNI EN 11104)
2. Corrosione indotta da carbonatazione	
XC1	$R_{ck,min}=25\text{ MPa}$ (UNI EN 206) - $R_{ck,min}= 30\text{ Mpa}$ (UNI EN 11104)
XC2	$R_{ck,min}=30\text{ MPa}$ (UNI EN 206 e UNI EN 11104)
XC3	$R_{ck,min}=37\text{ MPa}$ (UNI EN 206 e UNI EN 11104)
XC4	$R_{ck,min}=37\text{ MPa}$ (UNI EN 206) - $R_{ck,min}= 40\text{ Mpa}$ (UNI EN 11104)
3. Corrosione indotta da cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare	
XD1	$R_{ck,min}=37\text{ MPa}$ (UNI EN 206 e UNI EN 11104)
XD2	$R_{ck,min}=37\text{ MPa}$ (UNI EN 206) - $R_{ck,min}= 40\text{ Mpa}$ (UNI EN 11104)
XD3	$R_{ck,min}=45\text{ MPa}$ (UNI EN 206 e UNI EN 11104)
4. Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare	
XS1	$R_{ck,min}=37\text{ MPa}$ (UNI EN 206) - $R_{ck,min}= 40\text{ Mpa}$ (UNI EN 11104)
XS2	$R_{ck,min}=45\text{ MPa}$ (UNI EN 206 e UNI EN 11104)
XS3	$R_{ck,min}=45\text{ MPa}$ (UNI EN 206 e UNI EN 11104)
5. Attacco dei cicli gelo/disgelo con o senza sali disgelanti	
XF1	$R_{ck,min}=37\text{ MPa}$ (UNI EN 206) - $R_{ck,min}= 40\text{ Mpa}$ (UNI EN 11104)
XF2	$R_{ck,min}=30\text{ MPa}$ (UNI EN 206 e UNI EN 11104)
XF3	$R_{ck,min}=37\text{ MPa}$ (UNI EN 206) - $R_{ck,min}= 30\text{ Mpa}$ (UNI EN 11104)
XF4	$R_{ck,min}=37\text{ MPa}$ (UNI EN 206 e UNI EN 11104)
6. Attacco chimico	
XA1	$R_{ck,min}=37\text{ MPa}$ (UNI EN 206 e UNI EN 11104)
XA2	$R_{ck,min}=37\text{ MPa}$ (UNI EN 206) - $R_{ck,min}= 40\text{ Mpa}$ (UNI EN 11104)
XA3	$R_{ck,min}=45\text{ MPa}$ (UNI EN 206 e UNI EN 11104)



La Normativa

Da molti anni i calcestruzzi strutturali leggeri vengono trattati diffusamente e compiutamente all'interno delle normative, sia italiane che internazionali.

Sono considerati calcestruzzi a tutti gli effetti, con pari dignità rispetto a quelli tradizionali: infatti i criteri generali delle regole di calcolo sono perfettamente coerenti con questi ultimi adottando, per la specificità del calcestruzzo leggero, alcuni coefficienti correttivi dipendenti dalla massa volumica del conglomerato.

Di seguito i principali riferimenti normativi.



Norme Tecniche per le Costruzioni (Ntc 2018)

La normativa italiana in materia di costruzioni è rappresentata dal D.M. 17 Gennaio 2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni" (da qui in poi abbreviate NTC), in vigore dal 22 Marzo 2018; il testo raccoglie in forma unitaria le norme che disciplinano la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle costruzioni al fine di garantire, per stabiliti livelli sicurezza, la pubblica incolumità secondo un'impostazione coerente con gli Eurocodici.

Il capitolo 4.1.12 "Calcestruzzo di aggregati leggeri" caratterizza l'impiego dell'aggregato leggero; esso deve essere esclusivamente di origine minerale, artificiale o naturale, escludendo i calcestruzzi aerati. L'argilla espansa è quindi un aggregato leggero idoneo per il confezionamento di calcestruzzi strutturali leggeri.

Circolare esplicativa 21 gennaio 2019

Le Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche (Circolare 21 Gennaio 2019, n. 7 C.S.LL. PP) forniscono importanti indicazioni, elementi informativi ed integrazioni per una più agevole ed univoca applicazione delle NTC.

Il capitolo 4.1.12 "Calcestruzzo di aggregati leggeri" approfondisce le regole di calcolo ed i principi di progettazione che regolano i calcestruzzi strutturali di aggregati leggeri; in particolare debbono essere specificati in ragione della classe di resistenza e di massa per unità di volume.

Eurocodice 2

Gli Eurocodici con le relative Appendici Nazionali, in particolare l'Eurocodice 2, costituiscono la terza base di riferimento normativo a supporto applicativo delle NTC. Sono quindi da considerarsi norme e documenti tecnici di comprovata validità, a cui far riferimento per il reperimento di ulteriori indicazioni normative rispetto a quanto riportato nelle NTC nazionali.

All'interno della parte 1-1 "Regole generali e regole per gli edifici", capitolo 11 "Progettazione delle strutture in c.a.", è possibile trovare approfondimenti tecnici utili ai fini del calcolo.



Regole per il calcolo

I criteri generali delle regole di calcolo dei calcestruzzi leggeri strutturali sono perfettamente coerenti con quelli che si adottano per il calcestruzzo ordinario, salvo l'adozione di alcuni specifici coefficienti correttivi.

Per il progetto di strutture di aggregati leggeri si applicano quindi le norme di cui ai paragrafi da 4.1.1 a 4.1.11 delle NTC 2018, con le integrazioni e modifiche riportate di seguito, ed esplicitate in **4.1.12** delle NTC 2018 e **C 4.1.12** della Circolare del 21/01/19.

Resistenza a compressione

La resistenza a compressione di calcolo si valuta mediante l'espressione seguente:

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{lc} f_{ck}}{\gamma_{lc}}$$

nella quale:

- α_{lc} è un coefficiente che tiene conto degli effetti di lunga durata e degli effetti sfavorevoli dell'applicazione del carico sui calcestruzzi leggeri e vale 0,85;
- γ_{lc} è il fattore parziale di sicurezza per il calcestruzzo leggero, che può essere assunto pari a 1,5
- f_{ck} è la resistenza caratteristica cilindrica a compressione a 28 giorni.

Resistenza a trazione

La resistenza a trazione semplice (assiale) può essere stimata in termini di valore medio a partire dalla resistenza a compressione (media cilindrica) del calcestruzzo leggero, senza quindi obbligo di sperimentazione diretta preventiva, e dipende linearmente dalla massa volumica del calcestruzzo (è crescente con questa):

- per calcestruzzi di classe $\leq$ LC 55/60 : $f_{ctm} = 0,30 f_{ck}^{2/3} \eta_1$ [C 4.1.12]
- per calcestruzzi di classe $>$ LC 50/55: $f_{ctm} = 2,12 \ln [1 + (f_{cm}/10)] \eta_1$ [C 4.1.13]

dove:

$$\eta_1 = 0,40 + 0,60 p/2200$$

p = valore limite superiore della massa volumica del calcestruzzo, per la classe di massa volumica di appartenenza in kg/m³;

e dove f_{cm} = valore della resistenza media cilindrica a compressione in N/mm² pari a:

- 22 N/mm² per LC 16/18;
- $f_{ck} + 8$ N/mm² per $f_{ck} > 20$ N/mm²;

I valori caratteristici della resistenza a trazione semplice, corrispondenti ai frattili 0,05 e 0,95 possono assumersi pari a:

- frattile 5% : $f_{lctk, 0,05} = 0,7 f_{lctm}$
- frattile 95% : $f_{lctk, 0,95} = 1,3 f_{lctm}$

La resistenza a trazione di calcolo è quindi pari a:

$$f_{ctd} = \frac{0,85 f_{lctk}}{\gamma_c}$$

Modulo di elasticità

In assenza di sperimentazione diretta, una stima del modulo elastico secante a compressione a 28 giorni può essere ottenuta dall'espressione:

$$E_{cm} = 22.000 \left[\frac{f_{cm}}{10} \right]^{0,3} \eta_E$$

essendo:

- f_{cm} = valore della resistenza media cilindrica a compressione in N/mm²
- p = valore limite superiore della massa volumica del calcestruzzo, per la classe di massa volumica di appartenenza in kg/m³

$$\eta_E = \left[\frac{p}{2200} \right]^2$$

I vantaggi dei calcestruzzi leggeri

La maggiore deformabilità dei calcestruzzi leggeri rispetto a quelli ordinari è da valutare nel complesso dell'intera struttura, coinvolgendo quindi l'analisi della forma e delle dimensioni delle membrature strutturali.

Impiegando, ad esempio, un calcestruzzo con massa volumica 1600 kg/m³, il **peso proprio delle membrature strutturali è ridotto di circa il 40% rispetto al caso del calcestruzzo ordinario**; si potranno così utilizzare sezioni di dimensioni (ed inerzia) adeguate a contenere gli effetti deformativi.

Alcuni **vantaggi** nell'uso dei calcestruzzi leggeri:

- in zona sismica valori più bassi di modulo elastico smorzano la trasmissione delle sollecitazioni dinamiche mentre la minor massa volumica del calcestruzzo diminuisce l'entità delle sollecitazioni dovute al sisma che, come è noto, risultano essere proporzionali alle masse spostate;
- nei casi in cui la **prevalenza del peso proprio** (ponti, pannelli tegoli di copertura) permetta un dimensionamento più favorevole della sezione se il manufatto viene realizzato in calcestruzzo leggero. In tal caso l'influenza del minor peso risulta essere preponderante su quella del minor modulo elastico e di conseguenza si avranno frecce minori.

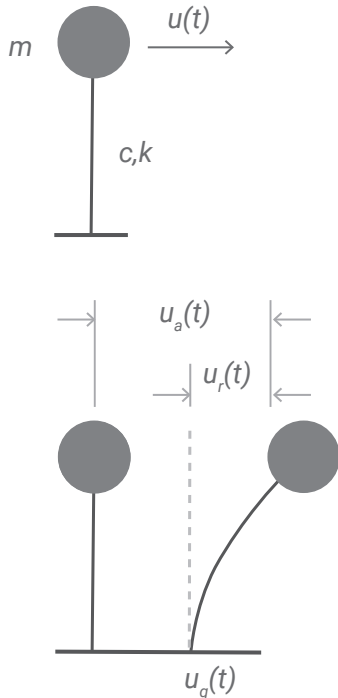
LecaCLS: il modulo elastico

Certificazioni laboratori ENCO disponibili su Leca.it.

	E_{cm} = N/mm ²
Leca CLS 1400	15.000
Leca CLS 1600	20.000
Leca CLS 1800	25.000
Calcestruzzo Centrostorico	17.000
Calcestruzzo Fluido	25.000
Calcestruzzo Rapido	15.000

Il comportamento sismico delle strutture

Cenni di dinamica delle strutture



$u_g(t)$	Spostamento del suolo
$u_r(t)$	Spostamento relativo all'oscillatore
$u_a(t) = u_r(t) + u_g(t)$	Spostamento assoluto dell'oscillatore

Le NTC 2018 al par. 7.4 ammettono, per la progettazione di strutture soggette all'azione sismica, l'utilizzo di calcestruzzi strutturali leggeri di classe uguale o superiore a LC20/22. L'utilizzo del calcestruzzo leggero strutturale con argilla espansa assicura **diversi vantaggi**.

In primo luogo, l'utilizzo di materiali leggeri garantisce una **minor massa e quindi minor peso che grava sulle strutture esistenti**; inoltre nella progettazione e realizzazione di strutture miste (come ad esempio avviene nel consolidamento dei solai esistenti), il **minor peso consente un'ottimizzazione della connessione e quindi della sezione collaborante, a tutto vantaggio della sicurezza statica dell'edificio ed anche dell'economicità dell'intervento**.

Il vantaggio nell'impiego di calcestruzzi leggeri strutturali può essere evidenziato partendo dai principi di progettazione delle strutture in zona sismica con riferimento alla teoria dinamica delle strutture.

Nella descrizione degli aspetti elementari della risposta di un edificio soggetto al moto del terreno, si farà riferimento ad un **semplice sistema ad un grado di libertà** costituito da una massa m sostenuta da un piedritto elastico di massa trascurabile e rigidezza k , deformabile solo nel piano della figura.

Il moto del sistema sarà quindi governato dall'equazione:

$$m\ddot{u}_a(t) + c\dot{u}_r(t) + ku_r(t) = 0$$

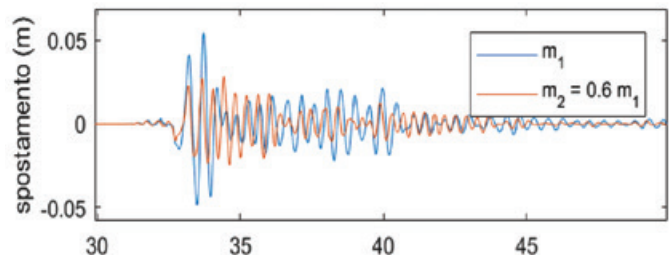
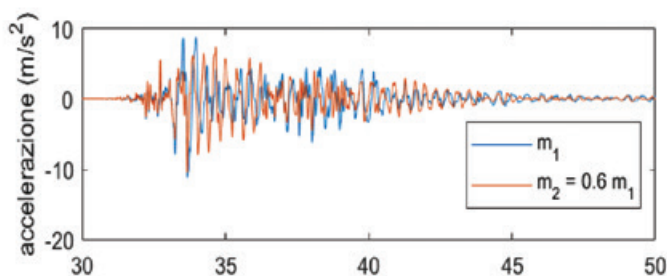
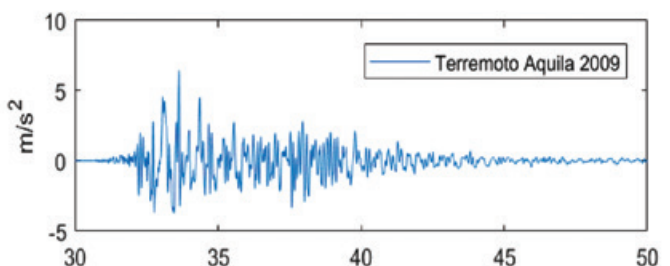
$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = m\ddot{u}_g(t); u(t) = u_r(t)$$

dove il termine a secondo membro rappresenta il moto del terreno in termini di accelerazione del suolo. A partire dall'equazione del moto si determina mediante integrazione la soluzione in termini di spostamento relativo del sistema e quindi della struttura.

Nota quindi l'accelerazione del suolo, sotto forma di storia temporale dell'accelerazione dell'evento sismico, ad esempio per il terremoto de L'Aquila del 2009, si può ricavare per mezzo dell'equazione del moto, la risposta della struttura in termini di accelerazione, e integrando due volte, la risposta anche in termini di spostamento.

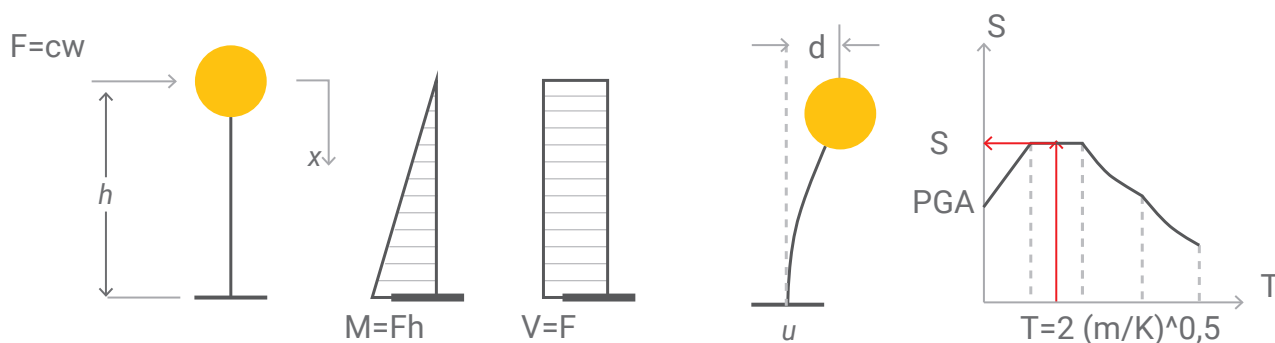
Qui a fianco si riportano di seguito i risultati dell'integrazione dell'equazione del moto a partire dalla storia temporale di accelerazione del **terremoto de L'Aquila del 2009**, per un sistema di massa m_1 e per un secondo sistema di massa $m_2 = 0.6 m_1$. Le risposte dei due sistemi in termini di accelerazione e spostamento sono state confrontate a parità di rigidezza e smorzamento.

I risultati ottenuti mettono in luce come la risposta del sistema, in termini di spostamento, sia inferiore nell'ipotesi di considerare una massa m_2 ridotta del 40% rispetto ad m_1 .



I vantaggi del calcestruzzo leggero

Il benefico effetto della riduzione delle masse sulle strutture soggette ad azione sismica è più intuitivo se si trasforma il problema dinamico in uno statico equivalente.



L'azione statica equivalente è determinata in funzione di due elementi:

$$F=W \cdot C$$

- C rappresenta il coefficiente sismico elastico (dipendente da una serie di elementi e condizioni al contorno);
- W rappresenta invece il peso della struttura (masse di piano per l'accelerazione gravitazionale). Mantenendo le stesse condizioni al contorno la riduzione del peso W delle masse di piano porta ad una conseguente riduzione dell'azione statica equivalente e delle rispettive caratteristiche di sollecitazione applicate.

I benefici del calcestruzzo leggero sono stati verificati attraverso un'analisi progettuale ("Il comportamento sismico di strutture in calcestruzzo leggero" in collaborazione con Eucentre di Pavia) condotta con tre livelli di sismicità (alta, moderata, bassa) su di un edificio in muratura e solai in legno, consolidati con una nuova soletta dello spessore di 5 cm e resistenza meccanica a compressione $R_{ck}=25$ MPa. In sintesi, i risultati numerici ottenuti conducono alle seguenti considerazioni:

- L'impiego del calcestruzzo leggero strutturale di argilla espansa nel consolidamento dei solai esistenti in legno può ridurre le forze di taglio sismiche fino a ca. il 10%. Questo è dovuto alla minor incidenza di peso delle strutture orizzontali.
- Disponendo di un modulo elastico inferiore rispetto al calcestruzzo tradizionale, il calcestruzzo leggero strutturale conferisce ai divisori orizzontali una maggior deformabilità che si traduce in periodi di vibrazione maggiore e quindi accelerazioni sulla struttura inferiori.

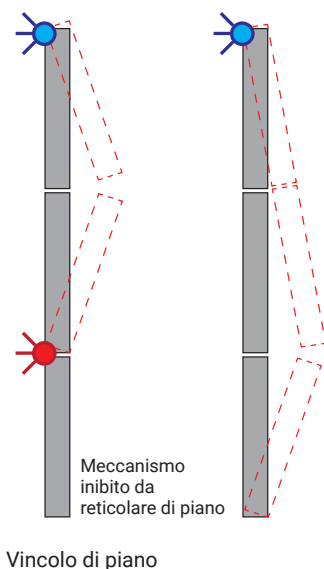
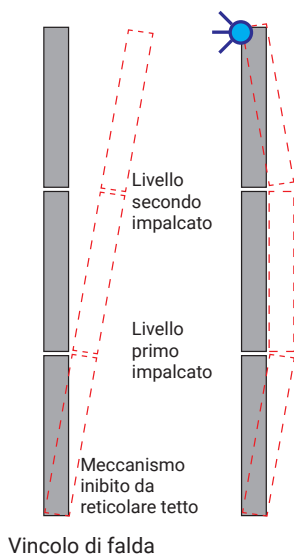
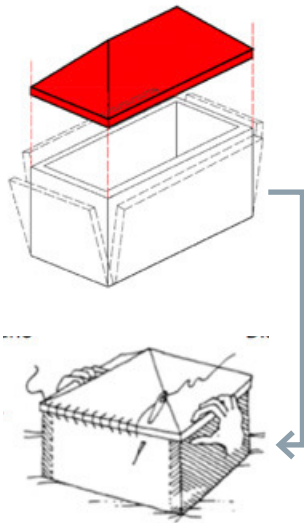
Il documento integrale "Il comportamento sismico di strutture in calcestruzzo leggero" (in collaborazione con Eucentre di Pavia) è disponibile su Leca.it.



Inquadra il QR code
per scaricare la
versione pdf.



Comportamento scatolare di un edificio in muratura



La sicurezza sismica

La progettazione degli interventi di recupero degli edifici esistenti presenti nel panorama costruttivo italiano parte dalla classificazione sismica degli stessi sulla base delle Linee Guida per la definizione del rischio sismico. Esse mettono in evidenza come per la mitigazione del rischio, e quindi la riduzione della vulnerabilità di un edificio esistente, sia necessaria un'analisi globale del comportamento della struttura nella sua interezza.

Ponendo l'attenzione sugli edifici in muratura, ad esempio, si dimostra come gli interventi sui solai esistenti, mediante la realizzazione del consolidamento flessionale e del diaframma rigido di piano, influiscano sul comportamento globale dell'involucro. In particolare, l'utilizzo dei calcestruzzi strutturali leggeri nel consolidamento dei solai esistenti ricopre un ruolo di primaria importanza.

I diaframmi orizzontali (solai) all'interno dell'involucro "edificio" svolgono infatti un ruolo fondamentale durante l'evento sismico. Ad essi è generalmente affidato il compito di ridistribuire le forze d'inerzia indotte dal sisma sugli elementi verticali e di assicurare che gli elementi resistenti al sisma collaborino nel sopportare l'azione orizzontale.

I diaframmi rigidi di piano permettono quindi di eliminare i meccanismi di collasso fuori piano garantendo un comportamento scatolare dell'edificio in muratura.

Per rischio sismico si definisce "l'unità di misura per fare prevenzione", ovvero rappresenta la misura matematico/ingegneristica per valutare il danno (perdita) atteso a seguito di un possibile evento sismico.

Rischio = Pericolosità x Vulnerabilità x Esposizione

Rischio sismico



Un caso studio svolto da Laterlite mediante modellazione di un edificio esistente in muratura, finalizzato alla valutazione della classe di rischio sismico, sia dello stato di fatto, sia dell'edificio in seguito agli interventi condotti, ha mostrato come la realizzazione di diaframmi di piano con soluzioni leggere e l'inserimento di presidi volti alla riduzione del rischio, consentono di ottenere un miglioramento della classe di rischio sismico della costruzione anche di due classi in più rispetto alle soluzioni tradizionali.

L'intera trattazione è riportata nel documento "Consolidamento statico e Antisismico dei solai. Guida Tecnica 2018" scaricabile dal sito Leca.it.

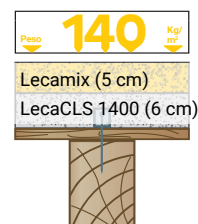
Miglioramento della Classe di rischio sismico

Le soluzioni di consolidamento antisismico dei solai Leca-CentroStorico consentono, in funzione dell'edificio (geometria, tipologia costruttiva e strutturale, etc) e della modalità d'intervento (consolidamento di un intero piano o di una sola porzione), di accedere alle agevolazioni fiscali previste dal Sisma bonus grazie al miglioramento della classe di rischio sismico dell'edificio.

Esempi di calcolo della classe di rischio sismico.

La validità delle soluzioni di consolidamento antisismico dei solai con il sistema Perimetro Forte (vedere pag. 28 per approfondimenti) è stata verificata attraverso modellazioni di calcolo su un edificio esistente, in configurazione leggera e tradizionale (Edificio esistente a 2 piani in zona con sismicità medio-alta ad Ancona, classe di partenza G).

Ogni altra tipologia di edificio andrà calcolata da un progettista responsabile.

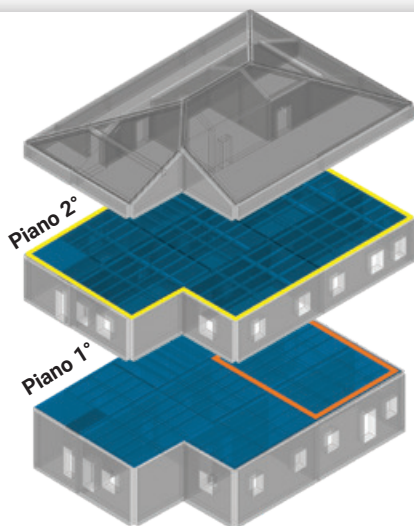


Soluzione leggera
Leca

PESO
-40%



Soluzione tradizionale pesante



■ Consolidamento globale: piani 1° e 2°.

■ Consolidamento parziale: piano 2°.

■ Consolidamento parziale: porzione di piano 1° (ad es. singolo appartamento).

Edificio esistente in muratura di mattoni pieni e malta di calce, solai in legno a semplice orditura, livello di conoscenza tipo LC2, destinazione d'uso residenziale.

Consolidamento globale: piani 1° e 2°

L'intervento prevede il consolidamento antisismico di **tutti i solai** (piano 1° e 2°).

La soluzione con **Perimetro Forte** consente di migliorare la sicurezza sismica dell'intero edificio di **4 classi** (da classe G a **classe C**), anche grazie alla **leggerezza del sistema** (calcestruzzi e massetti Leca).

La stessa soluzione, ma **pesante** in calcestruzzo e massetto tradizionali, risulta **meno performante** di quella leggera e **talvolta addirittura peggiorativa** rispetto all'edificio di partenza (non consolidato) a causa dell'**aumento delle masse**.

CLASSE DI RISCHIO SISMICO

Minor rischio sismico



Maggior rischio sismico

Consolidamento piano 2°

D + 3 classi

Anche l'intervento di consolidamento antisismico, applicato al solo piano 2°, consente di **migliorare** la sicurezza sismica dell'intero edificio di 3 classi.

Consolidamento appartamento (porzione piano 1°)

F + 1 classe

Il consolidamento antisismico, applicato a una sola porzione del piano 1° (a simulare l'intervento su un solo appartamento), consente di migliorare la sicurezza sismica dell'intero edificio di 1 classe.

Sisma bonus

Il Sismabonus è un'agevolazione fiscale, introdotta dal Governo e **in vigore sino al 31.12.21**, che consente di ottenere una detrazione fiscale Irpef sulle spese sostenute (tetto massimo di spesa 96.000 € iva inclusa) **per lavori edilizi antisismici su abitazioni e immobili per attività produttive**.

Il Sismabonus, in estrema sintesi, è articolato in:

- 1) interventi di adeguamento antisismico di edifici ricadenti nelle zone 1, 2 e 3
 - detrazione del 50%, per interventi senza miglioramento di classe di rischio sismico.
- 2) interventi di riduzione di rischio sismico di immobili ricadenti nelle zone 1, 2 e 3
 - detrazione del 70% (75% parti comuni edifici condominiali), per interventi atti a conseguire il passaggio a 1 classe inferiore di rischio sismico;
 - detrazione dell'80% (85% parti comuni edifici condominiali), per interventi atti a conseguire il passaggio a 2 o più classi inferiori di rischio sismico.



Richiedi assistenza al calcolo della tua soluzione a:
calcolo.strutturale@leca.it
02.48011962

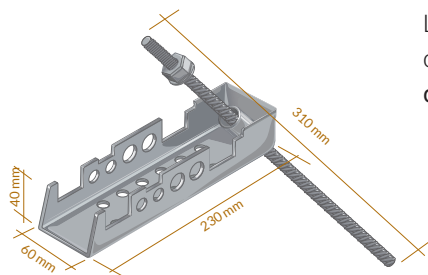
Per maggiori informazioni scarica la guida tecnica



Il consolidamento antisismico dei solai



Scarica gratuitamente i software di calcolo per la progettazione e la verifica dei solai in legno, acciaio e calcestruzzo da Leca.it



Per approfondimenti di calcolo si rimanda al volume tecnico "Calcestruzzo leggero strutturale di argilla espansa" redatto dai professori Sanpaolesi e Formichi disponibile su Leca.it. Inoltre è disponibile anche il nuovo manuale tecnico di consolidamento dei solai SAP a cura del Politecnico di Milano, richiedine una copia a: infoleca@leca.it

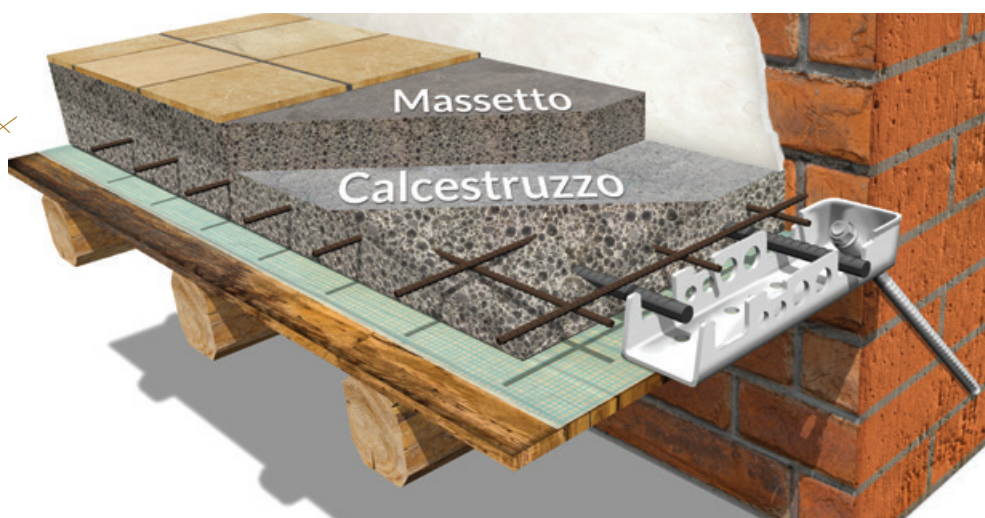


I calcestruzzi leggeri strutturali, grazie all'ampia gamma di massa volumica e resistenze, trovano largo impiego in numerose applicazioni sia per piccoli interventi di ripristino (grazie all'ampia gamma di prodotti premiscelati in sacco dalle prestazioni certificate) che per importanti opere ingegneristiche (anche sfruttando le centrali di betonaggio).

Il sistema di consolidamento antisismico si realizza con Perimetro Forte grazie all'efficace collegamento solaio-pareti, attraverso la formazione della **cerchiatura perimetrale indispensabile per far conseguire all'edificio il "comportamento scatolare"**. Si riduce così la vulnerabilità dell'edificio con interventi finalizzati ad assicurare la stabilità delle pareti.

La cerchiatura perimetrale "Perimetro Forte" si realizza con la posa di Connettore Perimetrale e delle barre di armatura all'interno delle apposite sedi, per il successivo getto della **soletta armata in Calcestruzzo Leca-CentroStorico** nello spessore minimo di 6 cm e dell'eventuale massetto leggero per la posa del pavimento.

La nuova soletta collaborante leggera, collegata al solaio esistente e alla muratura grazie al contributo dei Connettori CentroStorico e Perimetrale, **incrementa la sicurezza antisismica dell'edificio**.



Vantaggi della soluzione industrializzata e certificata Perimetro Forte

Incremento della sicurezza antisismica dell'edificio

Consente di migliorare la classe di rischio sismico della costruzione, utile anche per accedere alle agevolazioni Sisma Bonus.

Sistema industrializzato, certificato e sicuro nelle prestazioni

Composto dal Connettore Perimetrale (prisma di base e tirante-spinotto) e dall'Ancorante Chimico certificati al taglio e a estrazione dall'Università di Bergamo.

Facile e pratico da posare

Il serraggio meccanico permette il preliminare controllo in cantiere della correttezza di posa e dell'efficacia del collegamento. La posa non richiede manodopera e attrezzature speciali.

Cerchiatura perimetrale a basso spessore

La speciale geometria di Connettore Perimetrale consente il posizionamento delle barre di rinforzo longitudinali e della rete di rinforzo all'interno dello spessore della soletta collaborante in Calcestruzzo Leca in soli 6 cm (altezza del solo Connettore Perimetrale 4 cm).

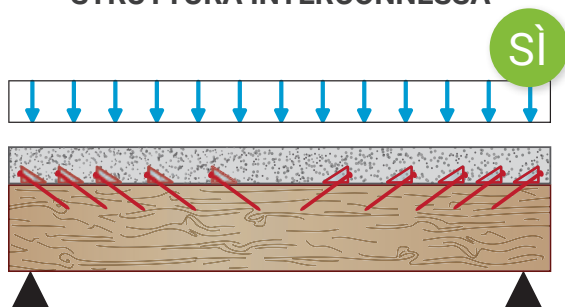
Il rinforzo statico

La base del sistema di consolidamento antisismico è il rinforzo statico del divisorio orizzontale, necessario per assicurare maggiore capacità portante ai carichi e sicurezza strutturale.

Sui solai, sia in legno che in acciaio e in calcestruzzo, si interviene con il loro consolidamento attraverso la **formazione di una nuova soletta in calcestruzzo leggero** perfettamente interconnessa al solaio esistente grazie all'impiego dei Connettori CentroStorico.

Anche Connettore Perimetrale, grazie all'efficace collegamento tra il solaio e la muratura perimetrale e in abbinamento a Connettore Legno/Acciaio/Calcestruzzo, contribuisce al miglioramento statico del solaio riducendone la freccia a tutto vantaggio di maggiori carichi di esercizio.

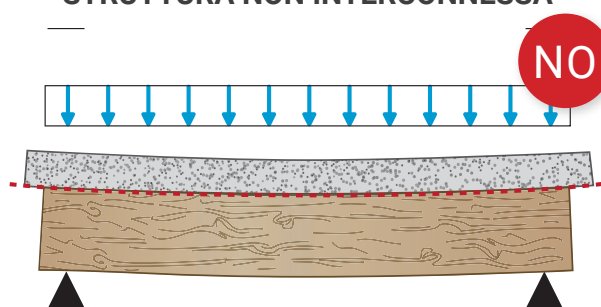
STRUTTURA INTERCONNESSA



Il sistema crea una vera e propria struttura mista con un'effettiva continuità strutturale. Il connettore ha la funzione di "cucire" assieme il solaio esistente con la nuova soletta in calcestruzzo leggero impedendone lo scorrimento reciproco e assicurando un **considerevole aumento della rigidità e resistenza della struttura**.

Il connettore lavora "a taglio", moltiplicando il contributo statico dei due elementi: nuova soletta e solaio esistente.

STRUTTURA NON INTERCONNESSA



Il sistema, non assicurando l'unione tra solaio esistente e nuova soletta in calcestruzzo, risulta un **semplice accoppiamento in parallelo dei due elementi con conseguente scorrimento reciproco nel piano orizzontale** (la sezione ottenuta non è monolitica).

Il solaio, seppur irrobustito dalla nuova soletta in calcestruzzo, risulta poco rigido e con deformazioni (freccie) potenzialmente significative.



Consigli per la confezione



Nel confezionamento del calcestruzzo, l'aggregato di **argilla espansa** si impiega in modo **analogo a un inerte tradizionale** utilizzando pertanto le comuni attrezzature presenti nei cantieri o nelle centrali di betonaggio.

LecaCLS: calcestruzzi premiscelati

LecaCLS 1400/1600/1800, Calcestruzzo Centrostorico, Calcestruzzo Fluido e Calcestruzzo Rapido è la gamma di calcestruzzi strutturali leggeri premiscelati in sacco; **la curva granulometrica degli inerti, il dosaggio del legante e degli additivi sono sempre costanti e controllati in fase di confezionamento.**

La praticità e maneggevolezza dei sacchi facilitano le operazioni di movimentazione e di stoccaggio anche nei cantieri meno agevoli, semplificano le operazioni di impasto (in quanto occorre la sola aggiunta di acqua) ed offrono la garanzia di un materiale certificato.



Calcestruzzi preconfezionati

Proprio per la naturale variabilità di peso dell'aggregato leggero è preferibile che il **dosaggio degli inerti venga fatto a volume**. Nel caso in cui fosse eseguito in peso, è bene prestare particolare attenzione alla massa volumica del materiale argilla espansa ed alle sue condizioni di umidità onde evitare errori nella composizione della miscela.

Il Leca può essere consegnato su mezzi ribaltabili, pompato in silo o insaccato in Big-Bag da 1,0-1,5-2,0 m³.

Le condizioni di stoccaggio dell'aggregato leggero sono le medesime dell'aggregato tradizionale: il Leca può quindi essere inserito in tramoggia, lasciato a piazzale o pompato in silo.

Una volta verificate le condizioni di umidità degli aggregati (leggeri e non), determinato il peso del Leca e fatte le dovute correzioni sui dosaggi l'ordine consigliato di inserimento dei componenti prevede il caricamento di:

- tutto l'aggregato leggero (Leca, Leca Strutturale);
- circa i 2/3 dell'acqua di impasto;
- rapida miscelazione e successivo inserimento degli inerti;
- legante;
- rimanente quantitativo d'acqua (1/3);
- additivi



Posa in opera tradizionale

Per la posa in opera tradizionale (a canaletta o a secchione) del calcestruzzo strutturale leggero (LecaCLS premiscelato e Leca preconfezionato) non ci sono accorgimenti particolari che già non siano inclusi nella buona pratica per i calcestruzzi tradizionali.

Il premiscelato LecaCLS 1400, in particolare, può essere messo in opera anche mediante l'utilizzo di pompe pneumatiche usate per i sottofondi; per il pompaggio dei premiscelati LecaCLS 1600 e 1800 contattare l'Assistenza Tecnica Laterlite (02 48011962) per valutare le condizioni operative di cantiere e l'idoneità delle attrezzature.

La compattazione del calcestruzzo in opera va realizzata con attenzione impiegando idonei vibratori: specialmente per i getti di calcestruzzo con massa volumica inferiori a 1.600 Kg/m³, è bene agire con una vibrazione omogenea e diffusa in tutto il getto. Ove disponibili (specialmente nel settore della prefabbricazione) sono preferibili i casseri vibranti che consentono una più uniforme compattazione del materiale.



Consigli per la posa in opera

Posa in opera con pompe da calcestruzzi

In fase di progettazione ed esecuzione del conglomerato leggero vanno introdotti degli accorgimenti per facilitare il pompaggio dell'impasto; la modalità di posa in opera del calcestruzzo ne influenza quindi la ricetta.

A causa della capacità di assorbimento propria dell'aggregato leggero durante le fasi di pompaggio, può accadere che parte dell'acqua di impasto venga assorbita; l'impasto finale risulta così povero d'acqua rischiando il bloccaggio nella pompa. Un aumento del quantitativo d'acqua in fase di messa in opera faciliterebbe l'operazione ma abbatterebbe inevitabilmente le resistenze del conglomerato, aumentandone il bleeding.

È quindi necessario che l'aggregato leggero, al momento del pompaggio, sia in condizioni tali da scorrere con estrema facilità. Ciò è realizzabile in due modi:

- mediante la pre-bagnatura dell'aggregato leggero;
- con l'utilizzo della tecnologia SCC (Self Compacting Concrete).

Pompaggio mediante pre-bagnatura

La pre-bagnatura dell'argilla espansa è necessaria prima del confezionamento della miscela, nel caso in cui essa sia molto secca e comunque lontana dalle condizioni di s.s.a. (saturazione a superficie asciutta). È un procedimento assolutamente consigliato per il pompaggio di calcestruzzi strutturali molto leggeri (massa volumica comprese fra i 1400 e i 1800 Kg/m³) e specialmente per quelli confezionati con Leca 3-8.

Fattibile generalmente per piccole forniture di calcestruzzo, è sufficiente mettere il Leca a bagno nella betoniera la sera precedente al giorno dell'impasto. Se il quantitativo di calcestruzzo da confezionare aumenta, è necessario mantenere bagnato il Leca durante lo stoccaggio mediante irrigatori.

Lo scopo delle suddette operazioni è dunque quello di fornire per tempo all'argilla l'acqua di assorbimento in modo che non ne venga sottratta in fase di pompaggio.

Pompaggio con tecnologia SCC

Al fine di aumentare la fluidità dell'impasto ed evitare la segregazione per galleggiamento dell'aggregato leggero, si utilizzano le moderne tecniche dei calcestruzzi autocompattanti (SCC - Self Compacting Concrete).

Mediante l'aggiunta di opportuni additivi fluidificanti ed arricchendo la curva granulometrica con parti fini (aggiunte minerali come ceneri volanti, fumo di silice, etc.), è possibile confezionare calcestruzzi ad elevata fluidità che tendono ad assestarsi da soli nei casseri. La tecnologia SCC, oltre a rendere possibile il pompaggio di calcestruzzi strutturali di argilla espansa in qualunque condizione di umidità (non richiedendo quindi la pre-bagnatura del Leca), consente di ridurre o evitare la compattazione del getto aumentando così le prestazioni del calcestruzzo in termini di resistenza, rigidità e durabilità.

Per fornire all'impasto un'elevata reologia riducendo il rischio di segregazione, vengono introdotti anche specifici additivi superfluidificanti e viscosizzanti.



Esempi di mix design

Di seguito si presentano alcuni mix-design (formulazioni indicative) per il confezionamento di calcestruzzi leggeri strutturali da centrali di betonaggio.

Questi mix-design sono indicazioni utili per realizzare impasti preliminari che la competenza ed esperienza dei tecnici del settore saprà perfezionare ed ottimizzare a seconda delle richieste e delle situazioni specifiche.

Prestazioni dei calcestruzzi	A	B	C
Massa volumica a secco UNI EN 206-1 (kg/m ³) circa	1.700	1.800	1.900
Massa volumica a fresco (kg/m ³) ca.	1.850	1.950	2.050
Resistenza caratteristica a compressione R_{ck} (N/mm ²)	30	35	45
E modulo elastico (N/mm ²)	15.000	20.000	25.000
Pompabilità	si	si	si
Tipo di Leca	Leca Strutturale		
Conducibilità termica UNI 10351 (W/mK)	0,54	0,64	0,75

Formulazione indicativa per 1 m ³ di calcestruzzo reso	A	B	C
Cemento 42,5 R (kg)	450	480	480
Leca Strutturale 0-15 (L)	650	600	500
Sabbia 0-4 mm (kg)	660	770	950
Superfluidificante (L)	3,8	3,4	2,9
Acqua (L)	190	170	160
Rapporto acqua/cemento	0,4	0,37	0,35



Voci di capitolato premiscelati

LecaCLS1400

Calcestruzzo leggero strutturale per getti di rinforzo e solette collaboranti, costituito da premiscelato "Leca CLS 1400" a base di argilla espansa Lecapiù (assorbimento di umidità circa 1% a 30'), inerti naturali, cemento tipo Portland e additivi. Classe di massa volumica del calcestruzzo D1,5 (ca. 1400 kg/m³ secondo UNI EN 206-1), classe di resistenza a compressione certificata LC 20/22 ($R_{ck}=25$ N/mm² a 28 gg per LecaCLS 1400), modulo elastico certificato 15.000 MPa, conducibilità termica $\lambda=0,42$ W/mK. Confezionamento e getto in opera secondo le indicazioni del produttore.

LecaCLS 1600

Calcestruzzo leggero strutturale per getti di rinforzo e solette collaboranti ad alta resistenza, costituito da premiscelato "Calcestruzzo LecaCLS 1600" a base di argilla espansa Leca Strutturale, inerti naturali, cemento tipo Portland e additivi. Classe di massa volumica del calcestruzzo D1,7 (ca. 1600 kg/m³ secondo UNI EN 206-1), classe di resistenza a compressione certificata LC 30/33 ($R_{ck}=35$ N/mm² a 28 gg), modulo elastico certificato 20.000 MPa, conducibilità termica $\lambda=0,54$ W/mK. Confezionamento e getto in opera secondo le indicazioni del produttore.

LecaCLS 1800

Calcestruzzo leggero strutturale fibrorinforzato per getti di rinforzo e solette collaboranti ad alte prestazioni, costituito da premiscelato "LecaCLS 1800" a base di argilla espansa Leca Strutturale, inerti naturali, cemento tipo Portland, fibre polimeriche e additivi. Classe di massa volumica del calcestruzzo D1,9 (ca. 1800 kg/m³ secondo UNI EN 206-1), classe di resistenza a compressione certificata LC 40/44 ($R_{ck}=45$ N/mm² a 28 gg), modulo elastico certificato 25.000 MPa, conducibilità termica $\lambda=0,70$ W/mK. Confezionamento e getto in opera secondo le indicazioni del produttore.



Scansiona il QR code
per scaricare
la voce di capitolato



Calcestruzzi leggeri strutturali



Caratteristiche tecniche

	LecaCLS 1400	LecaCLS 1600	LecaCLS 1800	Calcestruzzo CentroStorico	Calcestruzzo CentroStorico Rapido	Calcestruzzo CentroStorico Fluido
Massa volumica in opera (UNI EN 206-1)	D 1,5 (ca. 1400 kg/m ³ ca.)	D 1,7 (ca. 1600 kg/m ³ ca.)	D 1,9 (ca. 1800 kg/m ³ ca.)	D 1,6 (ca. 1500 kg/m ³ ca.)	D 1,5 (ca. 1400 kg/m ³ ca.)	D 1,9 (ca. 1900 kg/m ³ ca.)
Classe di resistenza a compressione	LC 20/22	LC 30/33	LC 40/44	LC 25/28	LC 20/22	LC 35/38
Resistenza a compressione certificata	$R_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$ (cubica a 28 gg.) $f_{lck} = 22,5 \text{ N/mm}^2$ (cilindrica a 28 gg.)	$R_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$ (cubica a 28 gg.) $f_{lck} = 31,5 \text{ N/mm}^2$ (cilindrica a 28 gg.)	$R_{ck} = 45 \text{ N/mm}^2$ (cubica a 28 gg.) $f_{lck} = 40,5 \text{ N/mm}^2$ (cilindrica a 28 gg.)	$R_{ck} = 28 \text{ N/mm}^2$ (cubica a 28 gg.) $f_{lck} = 25 \text{ N/mm}^2$ (cilindrica a 28 gg.)	$R_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$ (cubica a 28 gg.) $f_{lck} = 22,5 \text{ N/mm}^2$ (cilindrica a 28 gg.)	$R_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$ (cubica a 28 gg.) $f_{lck} = 35,5 \text{ N/mm}^2$ (cilindrica a 28 gg.)
Modulo elastico certificato	$E = 15.000 \text{ N/mm}^2$	$E = 20.000 \text{ N/mm}^2$	$E = 25.000 \text{ N/mm}^2$	$E = 17.000 \text{ N/mm}^2$	$E = 15.000 \text{ N/mm}^2$	$E = 25.000 \text{ N/mm}^2$
Classe di esposizione	X0-XC1	X0-XC1-XC2-XC3-XD1-XF2-XF3-XF4	X0-XC1-XC2-XC3-XC4-XS1-XS2-XS3-XD1-XD2-XD3-XF1-XF2-XF3-XF4-XA1	X0-XC1-XC2	X0-XC1(EN 206)	X0-XC1-XC2-XC3-XC4-XS1-XD1-XD2-XF1-XF2-XF3-XF4-XA1
Conducibilità termica λ certificata	0,42 W/mK	0,54 W/mK	0,70 W/mK	0,47 W/mK	0,42 W/mK	0,70 W/mK
Resa in opera (in funzione del grado di compattazione)	0,47 sacchi/m ² sp. 1 cm ca. 2,13 m ² /sacco sp. 1 cm ca.	0,47 sacchi/m ² sp. 1 cm ca. 2,13 m ² /sacco sp. 1 cm ca.	0,61 sacchi/m ² sp. 1 cm ca. 1,64 m ² /sacco sp. 1 cm ca.	0,74 sacchi/m ² sp. 1 cm ca. 1,35 m ² /sacco sp. 1 cm ca.	0,74 sacchi/m ² sp. 1 cm ca. 1,35 m ² /sacco sp. 1 cm ca.	0,74 sacchi/m ² sp. 1 cm ca. 1,35 m ² /sacco sp. 1 cm ca.
Pedonabilità	24 ore dalla posa					
Reazione al fuoco	Euroclasse A1 _{fl} (incombustibile)					
Conformità	D.M. 17/01/2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni" e alla relativa "Circolare" (Istruzioni alle NTC)					
Confezione	sacchi da 25 L/cad. pari a 1,4 m ³ di prodotto sfuso (56 sacchi)	sacchi da 25 L/cad. pari a 1,2 m ³ di prodotto sfuso (48 sacchi)	sacchi da 19,6 L/cad. pari a 1,1 m ³ di prodotto sfuso (56 sacchi)	sacchi da 16 L/cad. pari a 1,34 m ³ di prodotto sfuso (84 sacchi)	sacchi da 16 L/cad. pari a 1,34 m ³ di prodotto sfuso (84 sacchi)	sacchi da 16 L/cad. pari a 1,12 m ³ di prodotto sfuso (70 sacchi)
Voce di capitolato						

Consultare la Scheda Tecnica e di Sicurezza su Leca.it



Richiedi il Catalogo
Prodotti o scaricalo
su Leca.it

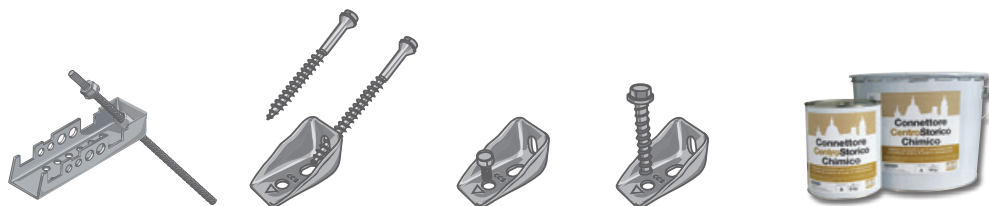


Scansiona il QR
code per maggiori
informazioni



Connettori CentroStorico

Caratteristiche tecniche



	Connettore Perimetrale	Connettore Legno	Connettore Acciaio	Connettore Calcestruzzo	Connettore Chimico
Carico ultimo a trazione	15 kN	-	-	-	-
Carico ultimo a taglio	8,2 kN	-	-	-	-
Rigidezza della connessione	7,5 kN/mm	-	-	-	-
Lunghezza spinotto (mm)	315 - 515 - 715	-	-	-	-
Resistenza caratteristica $F_{v,Rk}$ • posa connettore su trave (vite standard - corta) • posa connettore su assito sp. 2 cm (vite standard - corta) • posa connettore su assito sp. 4 (vite standard)	-	15,5 - 10,1 kN 14,6 - 8,3 kN 11,2 kN	-	-	-
Modulo di scorrimento per calcoli allo stato limite di esercizio K_{ser} • posa connettore su trave (vite standard - corta) • posa connettore su assito sp. 2 cm (vite standard - corta) • posa connettore su assito sp. 4 (vite standard)	-	19.340 - 7.137 N/mm 12.670 - 9.254 N/mm 9.200 N/mm	-	-	-
Modulo di scorrimento per calcoli allo stato limite ultimo K_u • posa connettore su trave (vite standard - corta) • posa connettore su assito sp. 2 cm (vite standard - corta) • posa connettore su assito sp. 4 (vite standard)	-	16.990 - 6.691 N/mm 12.670 - 8.908 N/mm 9.200 N/mm	-	-	-
Altezza minima trave con assito	-	10 cm (vite standard) 8 cm (vite corta)	-	-	-
Resistenza caratteristica P_{Rk}	-	-	23,1 kN	12,6 kN	-
Resistenza di progetto P_{Rd}	-	-	15,4 kN	10,0 kN	-
Spessore minimo ala della trave	-	-	6 mm	-	-
Calcestruzzo travetto esistente R_{ck}	-	-	-	≥ 20 MPa	-
Larghezza minima del travetto esistente: • spessore caldana ≥ 2 cm • in assenza di caldana	-	-	-	7 cm 8 cm	-
Resistenza all'adesione (taglio)	-	-	-	-	> 10 N/ mm ²
Resistenza a trazione per flessione	-	-	-	-	> 40 N/ mm ²
Resa in opera (indicativa in funzione dell'irregolarità del supporto e dal metodo d'applicazione)	-	-	-	-	1,0 - 1,5 kg/m ² ca.
Tempo di lavorabilità	-	-	-	-	90' (10°C), 60' (20°C), 45' (30°C)
Tempo aperto	-	-	-	-	3h (10°C), 90' (20°C), 60' (30°C)
Confezione	scatole da 12 pezzi	secchielli da 100 pezzi			imballi predosati da 10 kg (comp. A e comp. B)
Durata	-	-			12 mesi (in imballi originali e ben conservati)
Voce di capitolato					

Consultare la Scheda Tecnica e di Sicurezza su CentroStorico.eu



Laterlite



 LecaLaterlite
 lecalaterlite
 LaterliteSPA
 infoleca@leca.it

Assistenza Tecnica
via Correggio, 3
20149 Milano
Leca.it • 02.48011962