

CALCESTRUZZO LEGGERO STRUTTURALE CON ARGILLA ESPANSA LECA



Leca
soluzioni leggere e isolanti

INDICE

PREMESSA

La pubblicazione, giunta alla sua IV edizione, si pone l'obiettivo di svolgere il ruolo di guida per gli operatori del settore che progettano e costruiscono con calcestruzzi strutturali leggeri. Visto il consolidato interesse per il prodotto e i numerosi campi d'applicazione, in costante espansione sia a livello nazionale che internazionale, la speciale monografia tecnica si rinnova alla luce delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008, NTC), in vigore dal 01/07/2009, e delle Istruzioni per l'applicazione delle NTC (Circolare 02/02/2009).

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

Per approfondire con maggiori informazioni scientifiche, regole di calcolo ed esempi applicativi i calcestruzzi in argilla espansa Laterlite ha redatto, in collaborazione con i professori **Sanpaolesi e Formichi dell'Università di Pisa**, un nuovo testo dal titolo "Calcestruzzo leggero strutturale di argilla espansa" (disponibile online su www.leca.it).



INTRODUZIONE	3
APPLICAZIONI: CONSOLIDAMENTO SOLAI	4
APPLICAZIONI: STRUTTURE CIVILI E MANUFATTI	6
L'AGGREGATO LEGGERO: L'ARGILLA ESPANSA LECA	8
CARATTERISTICHE TECNICHE E CONSEGNA	10
LA NORMATIVA NAZIONALE	11
L'AGGREGATO LEGGERO: CARATTERIZZAZIONE FISICA	12
COMPOSIZIONE DEL CALCESTRUZZO LEGGERO	14
PROPRIETÀ REOLOGICHE CALCESTRUZZO	16
PRESTAZIONI DEL CALCESTRUZZO INDURITO	17
CLASSI DI ESPOSIZIONE	23
REGOLE PER IL CALCOLO	24
SICUREZZA SISMICA	25
ESEMPIO DI CALCOLO SOLAIO MISTO LEGNO-CLS	26
CONSIGLI PER LA CONFEZIONE	28
CONSIGLI PER LA POSA IN OPERA	29
ESEMPI DI MIX DESIGN	30
VOCI DI CAPITOLATO	31

IV edizione

Aggiornata ad Aprile 2015 - © 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 visita
del sito internet www.leca.it

Per ogni ulteriore informazione, contattare
l'Assistenza Tecnica Laterlite (tel. 02 48011962).

In copertina:
Torre Net Center
2009 - Padova - Italia
Calcestruzzo leggero strutturale
massa volumica: 1800 kg/m³
resistenza: 35 N/mm²

INTRODUZIONE

L'argilla espansa Leca è un aggregato leggero ed isolante prodotto nel Nord Europa dagli inizi degli anni '40 e da **metà degli anni '60** in Italia; grazie alle specifiche prestazioni e caratteristiche, ha avuto una crescente diffusione in molteplici applicazioni di isolamento termico ed alleggerimento.

Nei primi anni '70 l'argilla espansa, grazie al perfetto connubio tra leggerezza e resistenza, ha trovato impiego anche nella produzione di calcestruzzi strutturali leggeri favorendo lo sviluppo e la crescita di nuove applicazioni "leggere", ora conosciute ed impiegate in tutto il mondo.

REQUISITI FONDAMENTALI DI UN CALCESTRUZZO STRUTTURALE LEGGERO

I calcestruzzi strutturali 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** in accordo alle seguenti specifiche:

- **Aggregato leggero:** solo di origine minerale (conforme a UNI EN 13055-1);
- Classe di **resistenza minima:** LC 16/18 (cilindrica/cubica);
- Classe di **resistenza massima:** LC 55/60 (cilindrica/cubica);
- **Massa volumica minima:** 1.400 kg/m³;
- **Massa volumica massima:** 2.000 kg/m³;
- **Massa volumica minima su solai misti lamiera d'acciaio-calcestruzzo:** 1.800 kg/m³.

L'argilla espansa è un aggregato leggero, di origine minerale, prodotto industrialmente le cui caratteristiche possono quindi essere modificate per ottimizzare le prestazioni di conglomerati con impieghi molto differenziati.

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

- **betoncini leggeri isolanti a struttura aperta:** massa volumica 600 - 1000 kg/m³;
- **conglomerati cementizi a struttura chiusa:** massa volumica 1000 - 1.400 kg/m³;
- **calcestruzzi strutturali leggeri:** massa volumica 1.400 - 2000 kg/m³.

I calcestruzzi strutturali leggeri possono essere realizzati direttamente in cantiere, confezionati in centrale di betonaggio o presso l'impianto di prefabbricazione.

CALCESTRUZZI PREMISCELATI IN SACCO

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

Prodotto	Massa volumica	Resistenza caratteristica cubica a compressione
LecaCLS 1400	1400 kg/m ³	R _{ck} 25 N/mm ²
LecaCLS 1600	1600 kg/m ³	R _{ck} 35 N/mm ²
LecaCLS 1800	1800 kg/m ³	R _{ck} 45 N/mm ²



Granulo di argilla espansa



Calcestruzzi strutturali con argilla espansa Leca.

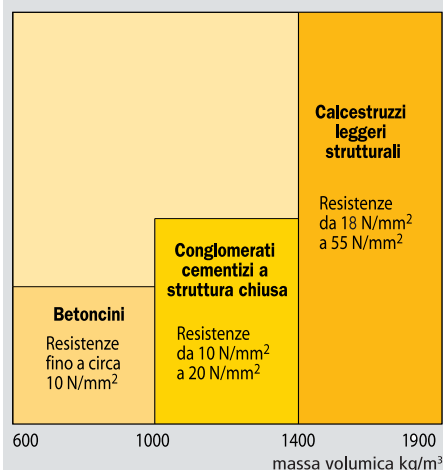


Diagramma indicativo dell'andamento delle resistenze cubiche in funzione della massa volumica.

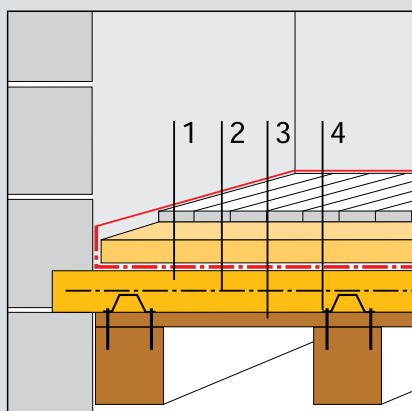


Premiscelati in sacco Leca CLS.

APPLICAZIONI: CONSOLIDAMENTO SOLAI

L'utilizzo del calcestruzzo strutturale leggero ha una vasta ed interessante bibliografia che spazia dalle strutture off-shore alle campate di importanti ponti o alle grandi coperture di edifici, ma oltre alla soluzione di specifiche problematiche, risulta vantaggioso in molti altri casi, ben più vicini alla corrente attività progettuale e realizzativa.

Nel recupero dei solai in legno, lamiera grecata, putrelle e laterizio in cui è necessario l'utilizzo di un calcestruzzo strutturale che realizzi il consolidamento senza sovraccaricare eccessivamente la struttura esistente.



Didascalia ai disegni di pag. 4 - 5

- 1 Calcestruzzo Strutturale LECA.
- 2 Rete elettrosaldata o armatura metallica.
- 3 Solaio o struttura esistente da rinforzare.
- 4 Connettori metallici di tipo continuo o puntiforme per soletta collaborante.



Sistema consolidamento



Consolidamento: connessione a pioli



Consolidamento: connessione continua



Recupero strutturale di solaio in legno - Casa Alessandro Manzoni, Milano



Recupero delle teste di travi in legno

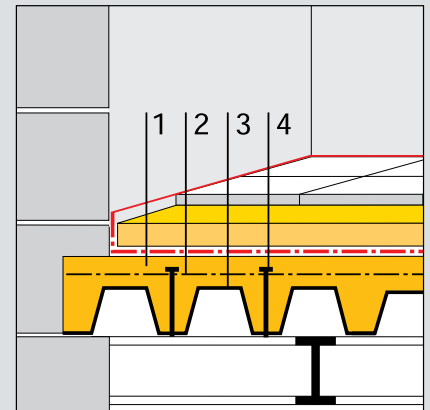


Recupero solai metallici

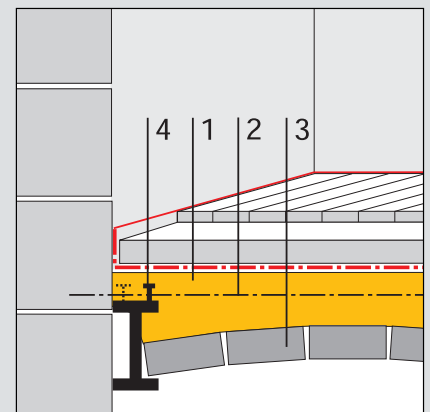


Consolidamento: metodo pioli a resina

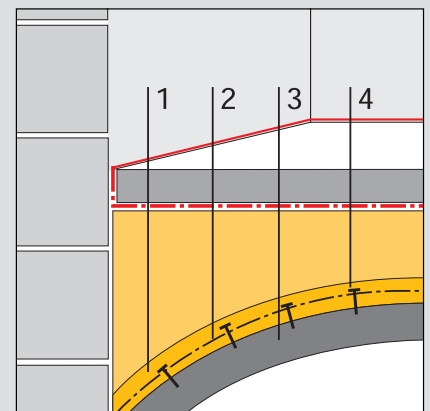
SOLAI IN LAMIERA GRECATA



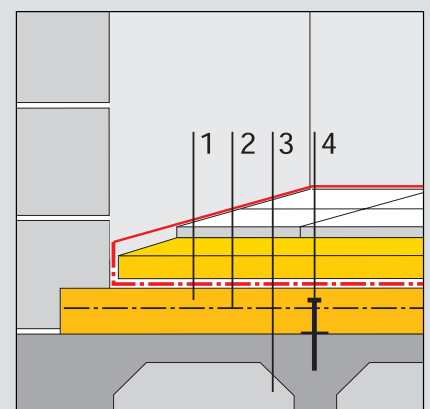
SOLAI IN PUTRELLE E LATERIZIO



VOLTE IN MURATURA



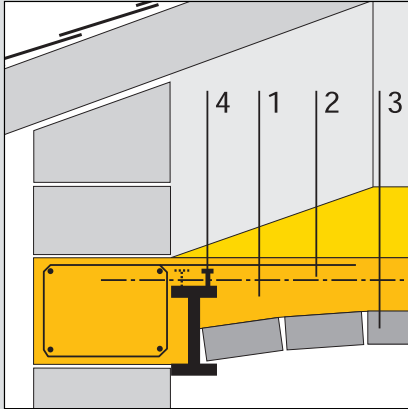
SOLAI IN LATEROCEMENTO



APPLICAZIONI: STRUTTURE CIVILI E MANUFATTI

RISTRUTTURAZIONI E SOPRAELEVAZIONI

Ristrutturazione, oltre che per i solai, per tutti gli altri getti (pilastri, muri portanti, cordoli, solette, scale, strutture su mensola, ecc...) da alleggerire per non gravare su strutture e fondazioni preesistenti.



- 1 Calcestruzzo Strutturale LECA.
- 2 Rete elettrosaldata o armatura metallica.
- 3 Solaio o struttura esistente da rinforzare.
- 4 Connettori metallici di tipo continuo o puntiforme per soletta collaborante.



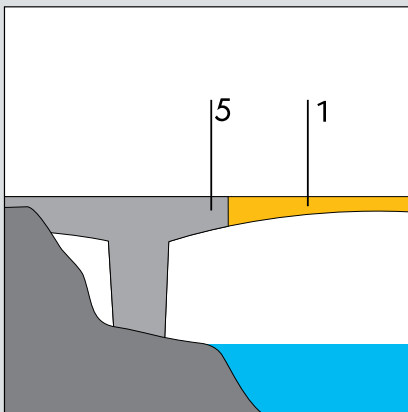
Sopraelevazione – via Montenapoleone – Milano



Restauro copertura Santuario di Loreto

GETTI STRUTTURALI

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



- 1 Calcestruzzo Strutturale LECA.
- 5 Calcestruzzo tradizionale.



Torre Polifunzionale – Padova



Grattacielo BMW – Monaco di Baviera



Stolmen Bridge – Norvegia

(Photo courtesy of Bergens Tidende, photographer: Jan M. Lillebo)



Castello Alfonsino – Porto di Brindisi



Risanamento Basilica S. Francesco, Assisi

COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA

L'azione del sisma è proporzionale alla massa delle strutture che esso coinvolge: nelle **costruzioni in zona sismica** alleggerire significa ridurre le sollecitazioni sulle murature perimetrali soprattutto nelle ristrutturazioni.



Pannelli di capannone industriale – Forlì



Tegoli di copertura – Boffalora Ticino

STRUTTURE PREFABBRICATE

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



Solai alleggeriti – Guggenheim Museum, Bilbao

STRUTTURE SU TERRENI A SCARSA PORTANZA

In questi casi la riduzione di peso consente di ridurre i costi di fondazione o, a parità di peso, realizzare strutture di maggiori dimensioni.



Venezia – Progetto MOSE per la difesa della città dalle acque alte.

STRUTTURE IN GENERE

Strutture in cui sia **tecnicamente necessario ed economicamente vantaggioso** un calcestruzzo con caratteristiche di leggerezza (1/3 del peso in meno rispetto ad un calcestruzzo ordinario), isolamento termico (conducibilità termica pari a meno di 1/3 rispetto ad un cls ordinario) e resistenza al fuoco (REI).

L'AGGREGATO LEGGERO: L'ARGILLA ESPANSA LECA



Lo stabilimento di Rubbiano di Fornovo.



La cava a cielo aperto dell'argilla.



L'argilla, materia prima naturale.



Il forno rotante per la cottura dell'argilla.

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. L'articolato processo produttivo ha inizio con l'escavazione dell'argilla dalla cava e la sua stagionatura all'aperto per lunghi periodi; questo affinché il tempo, le condizioni climatiche e quelle meteorologiche effettuino una prima "pre-lavorazione" naturale.

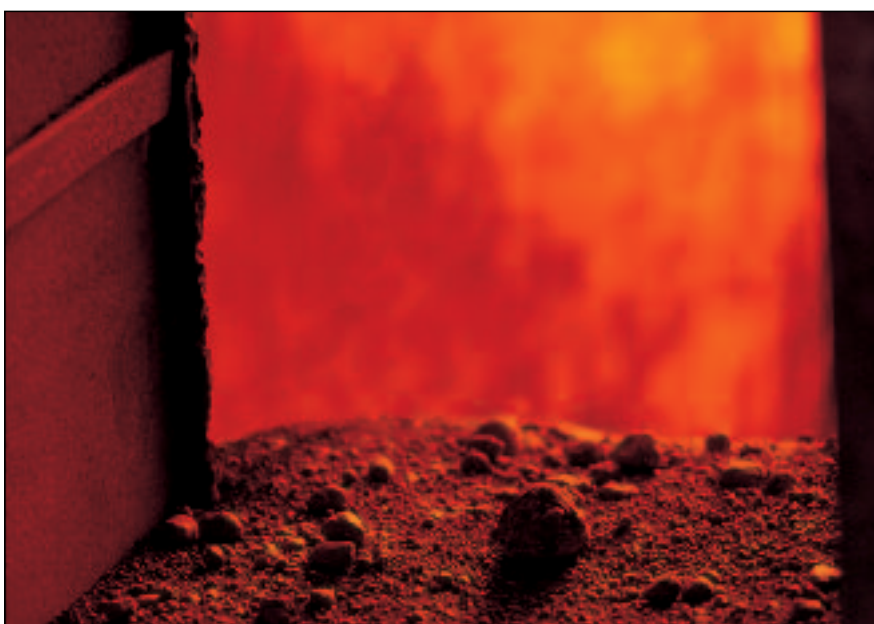
Una successiva lavorazione industriale, attraverso molazze, porta il materiale nelle condizioni di finezza e purezza ideali per la cottura. Attraverso un forno rotante l'argilla cruda, incontrando temperature sempre maggiori, per l'azione combinata dei gas che si sviluppa al suo interno e del movimento rotatorio espande, nella fase quasi fluida, in forma di palline rotondeggianti.

La ricerca, la tecnologia e l'esperienza permettono di controllare il grado di espansione che ottimizzi la qualità del prodotto finale. Il materiale incandescente viene quindi estratto dal forno e, attraverso un "letto fluido" fatto di correnti d'aria, raffreddato procurandone l'ossidazione e la **clinkerizzazione della scorza esterna**.

In questo momento si completa la caratteristica fondamentale del prodotto argilla espansa: 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**. Infatti il Leca è certificato Anab (Associazione Nazionale per l'Architettura Ecologica) e Icea (Istituto per la Certificazione Etica ed Ambientale) dal 2006 e prima ancora, dal 2002, da Anab-Ibo-Ibn come prodotto da costruzione naturale ed orientato ad **impieghi in costruzioni che rispettino l'ambiente**. Laterlite è socio del GBC Italia (certificazione Leed).



La cottura a 1.200 °C e il processo di espansione.

LECA E LECA STRUTTURALE

Il calcestruzzo è un materiale non omogeneo costituito dalla pasta cementizia e dagli aggregati; la sua resistenza a compressione è legata alla resistenza dei suoi componenti.

Nei **calcestruzzi tradizionali** gli aggregati hanno resistenze superiori a quelle della pasta cementizia; è quindi la qualità di quest'ultima a determinarne la resistenza a compressione finale. 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.

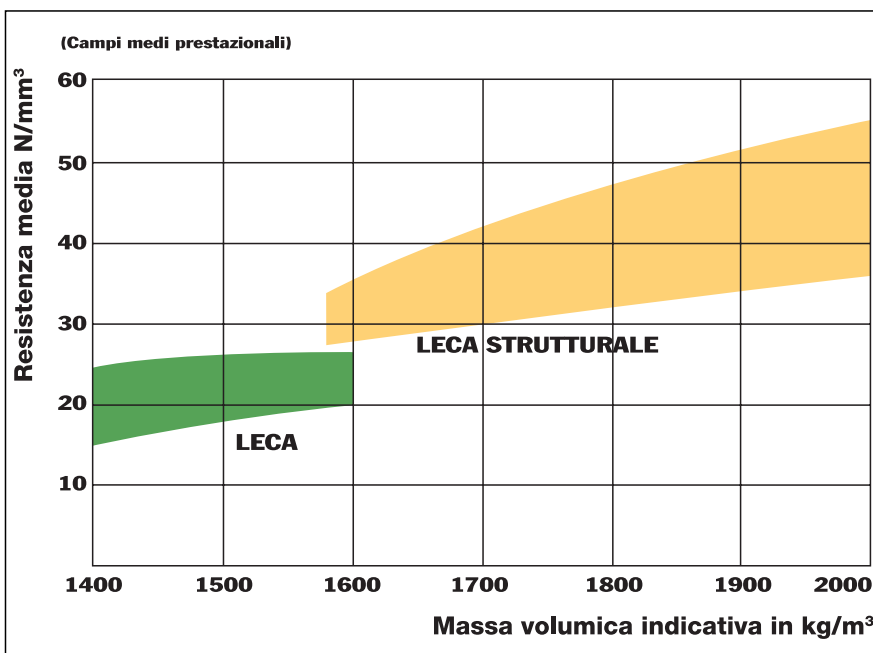
Nei **calcestruzzi leggeri strutturali** è invece l'aggregato ad avere la minor resistenza. Rompendo un provino di calcestruzzo leggero si osserva che la rottura interessa i grani di aggregato.

È quindi di fondamentale importanza che il calcestruzzo strutturale leggero, in funzione della resistenza finale da garantire, venga prodotto impiegando **aggregati leggeri il più possibile resistenti**.

Da oltre 15 anni l'argilla espansa viene prodotta in tre tipologie, il cui impiego è specifico in funzione delle resistenze che i calcestruzzi strutturali leggeri dovranno assicurare:

- **Leca:** per betoncini leggeri ed isolanti e calcestruzzi strutturali con resistenze caratteristiche cubiche R_{ck} sino a 25 N/mm^2 ;
- **Leca Strutturale:** per calcestruzzi strutturali con resistenze caratteristiche cubiche R_{ck} sino a 55 N/mm^2 .

CAMPI MEDI PRESTAZIONALI DEI CALCESTRUZZI CON LECA E LECA STRUTTURALE



A - Rottura della pasta cementizia.
B - Rottura dell'aggregato



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.



Il "mucchio" di argilla espansa in stabilimento.

CARATTERISTICHE TECNICHE E CONSEGNA



Argilla espansa Leca.



Argilla espansa Leca Strutturale.

Con un ciclo di produzione particolare, in aggiunta alla normale argilla espansa Leca, è possibile produrre **Leca Strutturale**.

È caratterizzato da un grado di espansione inferiore rispetto al prodotto Leca tradizionale, con un nucleo poroso interno meno espanso ed una struttura esterna clinkerizzata più spessa e resistente. Questa differente struttura dei granuli conferisce a Leca Strutturale un peso specifico maggiore ed una **resistenza alla frantumazione dei granuli decisamente superiore**.

LECA

Denominazione commerciale	0 - 2	2 - 3	3 - 8
Massa volumica in mucchio Kg/m ³ circa	680	480	380
Resistenza alla frantumazione dei granuli N/mm ²	≥ 5,0	≥ 3,0	≥ 1,5
Conducibilità termica certificata λ W/mK	0,12	0,10	0,09
Reazione al fuoco	Euroclasse A1 (Incombustibile)		

LECA STRUTTURALE

Denominazione commerciale	0 - 5	5 - 15	0 - 15
Massa volumica in mucchio Kg/m ³ circa	720	600	680
Resistenza alla frantumazione dei granuli N/mm ²	≥ 12,0	≥ 5,0	≥ 9,0
Conducibilità termica certificata λ W/mK	0,12	0,12	0,13
Reazione al fuoco	Euroclasse A1 (Incombustibile)		

La voce "Denominazione commerciale" non si riferisce al diametro in mm dei granuli di Leca ma è un'indicazione di carattere commerciale.

Per informazioni più dettagliate e aggiornate richiedere le Schede Tecniche di prodotto.

MODALITÀ DI CONSEGNA

IN SACCHI

Leca fornito in sacchi di plastica da 50 litri (20 sacchi/m³):

- 30 sacchi (1,5 m³) cadauno per la granulometria 0-2.
- 60 sacchi (3,0 m³) cadauno per la granulometria 2-3.
- 75 sacchi (3,75 m³) cadauno per la granulometria 3-8.

SFUSO

Leca e Leca Strutturale sono consegnati con autotreno ribaltabile (laterale posteriore) con portate fino a 65 m³ a seconda della denominazione e del tipo. Possono essere fornite su richiesta diverse granulometrie miscelate tra loro.

POMPATO

Sfuso con autotreni cisternati attrezzati per pompare il materiale in quota sino a 30 m o in orizzontale sino a 80÷100 m, oppure in silos. Le portate arrivano fino a 60 m³.

IN BIG BAG

Leca e Leca Strutturale sono consegnati (su richiesta) in big bag da circa 1,5 e 1 m³.



Leca in sacchi.



Leca in Big-bag.



Leca in cisterne.

LA NORMATIVA NAZIONALE

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.

NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI (NTC)

La normativa italiana in materia di costruzioni è rappresentata dal D.M. 14 Gennaio 2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" (da qui in poi abbreviate NTC), in vigore dal 1 Luglio 2009; 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 2 FEBBRAIO 2009

In considerazione del carattere innovativo delle NTC è stata pubblicata la Circolare 2 Febbraio 2009 n. 617, istruzioni per l'applicazione delle NTC, con l'obiettivo di privilegiare, con una trattazione maggiormente diffusa, gli argomenti più innovativi e per certi versi più complessi trattati dalle NTC stesse. Le istruzioni 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.



Ponte della Costituzione sul Canal Grande - Venezia



L'AGGREGATO LEGGERO: CARATTERIZZAZIONE FISICA



Gli unici aggregati leggeri ammessi per il confezionamento di calcestruzzi strutturali leggeri sono quelli di **origine minerale** conformi alla norma di prodotto **UNI EN 13055-1** (cfr. NTC par. 4.1.12).

In particolare la **resistenza alla frantumazione dell'aggregato leggero influenza in modo significativo la resistenza a compressione del calcestruzzo leggero** (cfr. Circolare 2 Febbraio 2009 par. 4.1.12) e, pertanto, deve essere dichiarata dal produttore all'interno della scheda tecnica di prodotto.

In accordo con le NTC, l'aggregato leggero deve essere provvisto di idonea **marcatura CE in sistema 2+**, ovvero con ente certificatore esterno che ne comprovi i valori dichiarati.

RESISTENZA ALLA FRANTUMAZIONE DEI GRANULI

Come già più volte detto, questa caratteristica **influenza sensibilmente le prestazioni complessive del calcestruzzo** in termini di resistenza finale.

La "resistenza alla frantumazione dei granuli" è la pressione necessaria per imprimere una deformazione prestabilita ad un campione normato di aggregato leggero, in accordo alla norma di prodotto UNI EN 13055-1; i valori di riferimento per i diversi tipi di argilla espansa Leca sono:

Argilla espansa	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} .



Procedure per la misurazione della resistenza alla frantumazione.

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 %	≤ 20 %
Leca Strutturale 0-15	1150	≤ 5 %	≤ 10 %

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 un mucchio;
- **massa volumica dei granuli**, ovvero il rapporto tra massa del granulo essiccato ed 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.

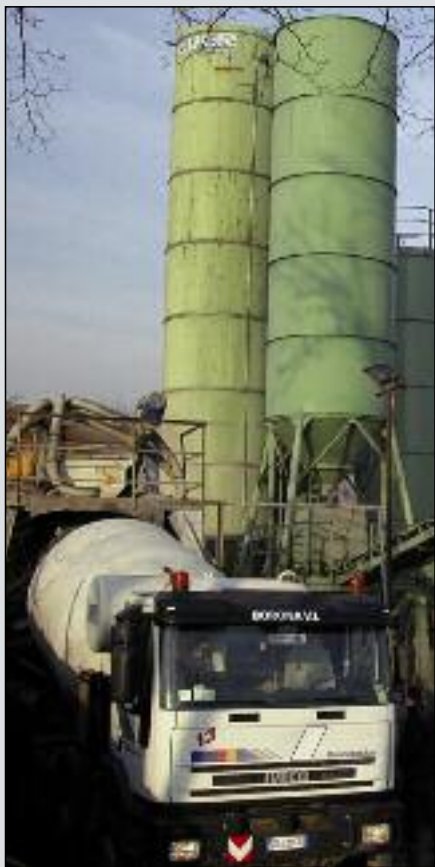
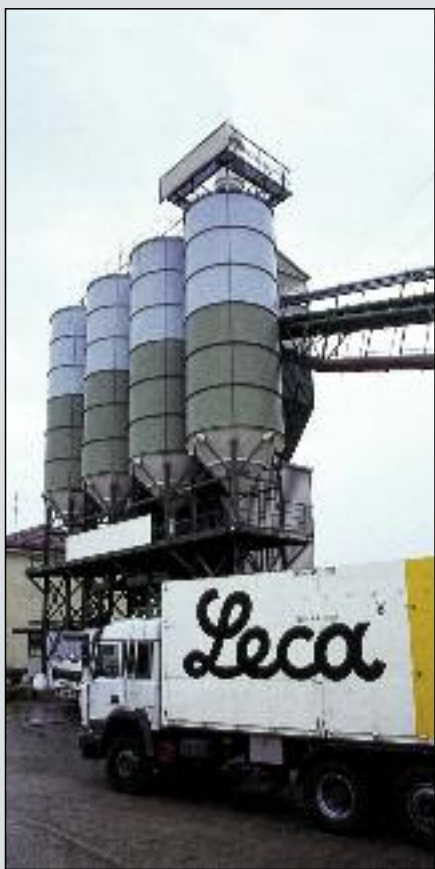
Argilla espansa	massa volumica media granuli (kg/m ³)	massa volumica in mucchio (kg/m ³)	Coeff.
Leca 0-2	ca. 1000	ca. 600	ca. 1,7
Leca 2-3	ca. 760	ca. 450	ca. 1,7
Leca 3-8	ca. 600	ca. 350	ca. 1,7
Leca Strutturale 0-15	ca. 1150	ca. 680	ca. 1,7



Procedure per la misurazione della massa volumica.

Procedure per il controllo dell'imbibizione.

COMPOSIZIONE DEL CALCESTRUZZO LEGGERO



Confezionamento del calcestruzzo leggero strutturale in centrale di betonaggio.

LEGANTE

Le caratteristiche prestazionali di un calcestruzzo leggero possono essere fortemente influenzate dalla tipologia dell'aggregato leggero che lo costituisce ma in linea di massima, come del resto accade anche nel calcestruzzo tradizionale, grande influenza ha la **qualità della pasta cementizia**. Tutte le prescrizioni tecniche e gli accorgimenti tecnologici che costituiscono il corretto proporzionamento 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, rimangono capisaldi del mix design anche nel caso di calcestruzzi leggeri.

AGGREGATI

Il confezionamento di un calcestruzzo leggero può avvenire sostituendo, totalmente o parzialmente, l'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.

Il corretto proporzionamento fra il quantitativo di sabbia e quello di aggregato leggero Leca consente 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 ed 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 inficiando 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 e per Leca Terrecotte.

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, anti-gelo** 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.

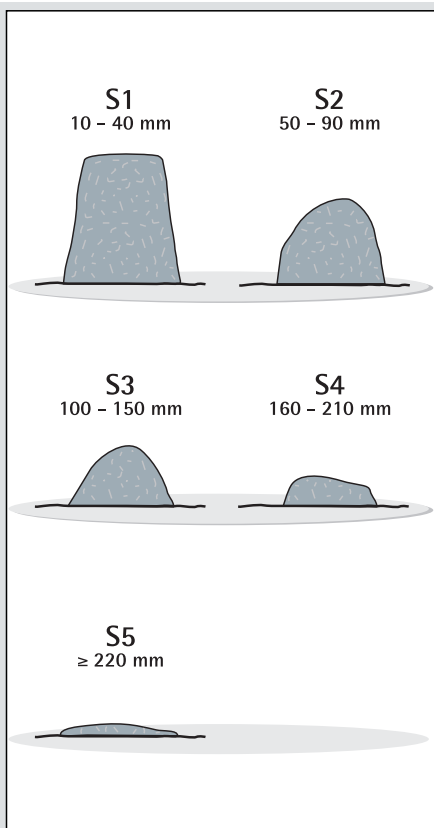
Acqua efficace	Lavorabilità (a pari Dmax)	Resistenza (a pari Cemento)
		
		

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



Pompaggio calcestruzzo da centrale di betonaggio.

PROPRIETÀ REOLOGICHE CALCESTRUZZO



Classi di consistenza.



Prova con cono di Abrams.



Prova di spandimento.

Tra le caratteristiche prime che orientano il progettista nella scelta del calcestruzzo idoneo per il cantiere c'è sicuramente la **lavorabilità**. Il tipo di struttura da realizzare, il grado e la tipologia di armatura, la qualità della mano d'opera, la distanza del cantiere dal centro di produzione, le condizioni di messa in opera e di stagionatura, sono tutte caratteristiche che influenzano "a monte" la progettazione del calcestruzzo e ne richiedono una precisa indicazione sulla classe 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/m^3 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 fenomeno 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. Nella tabella è riportata la classificazione secondo UNI EN 206-1.

Classi di abbassamento al cono (slump)

Classe	S1	S2	S3	S4	S5	
Abbassamento al cono	10 ÷ 40	50 ÷ 90	100 ÷ 150	160 ÷ 210	≥ 210	

Classi di spandimento

Classe	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Diametro spandimento	≥ 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** (rifluimento 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 vibrator 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. **Un'azione omogeneamente ripartita su tutta la sezione** ridurrà il rischio di segregazione del getto. Ove disponibili (generalmente nella prefabbricazione), è consigliato l'uso di casseri vibranti che effettuano in modo più uniforme la compattazione del calcestruzzo.

PRESTAZIONI DEL CALCESTRUZZO INDURITO

Le proprietà 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. 14 Gennaio 2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" e la Circolare 2 Febbraio 2009.

CLASSI DI MASSA VOLUMICA DEL CALCESTRUZZO

I calcestruzzi strutturali leggeri sono conglomerati cementizi nei quali tutto, o una parte, dell'aggregato naturale è sostituito da aggregati leggeri con lo scopo principale di ridurne la massa volumica.

La massa volumica del calcestruzzo strutturale leggero deve essere non inferiore a 1400 kg/m^3 e non superiore a 2000 kg/m^3 .

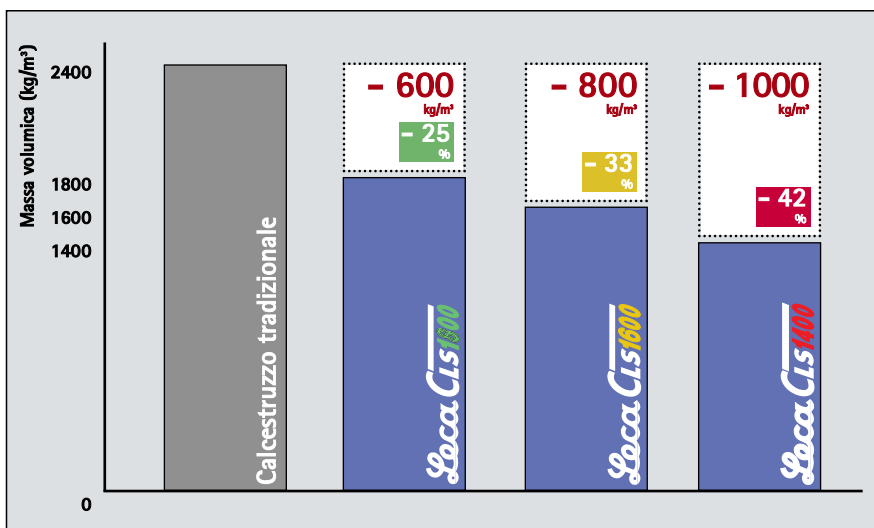
Le classi di massa per unità di volume del calcestruzzo di aggregati leggeri ammesse per l'impiego strutturale sono le seguenti (cfr. tabella C4.1.VI. Circolare 02.02.2009):

Classe di massa volumica	Intervallo di massa volumica non armato (kg/m^3)	Massa volumica calcestruzzo non armato (kg/m^3)	Massa volumica calcestruzzo armato (kg/m^3)
D1,5	$1400 < \rho \leq 1500$	1550	1650
D1,6	$1500 < \rho \leq 1600$	1650	1750
D1,7	$1600 < \rho \leq 1700$	1750	1850
D1,8	$1700 < \rho \leq 1800$	1850	1950
D1,9	$1800 < \rho \leq 1900$	1950	2050
D2,0	$1900 < \rho \leq 2000$	2050	2150

La riduzione di peso, assicurata da un calcestruzzo leggero strutturale, è particolarmente significativa ed importante nell'esecuzione di opere di ristrutturazione e nella realizzazione 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.

CONFRONTO MASSA VOLUMICA DEI CALCESTRUZZI



Elemento prefabbricato.



Misura della massa volumica a fresco.



PRESTAZIONI DEL CALCESTRUZZO INDURITO



Provino cubico.



Pressa per determinazione resistenza a compressione.

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). Il rapporto tra le due resistenze è mediamente pari a circa 0,90, diverso dallo 0,83 valido per il calcestruzzo ordinario.

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 $f_{lcm} = f_{lck} + 8 \text{ N/mm}^2$.

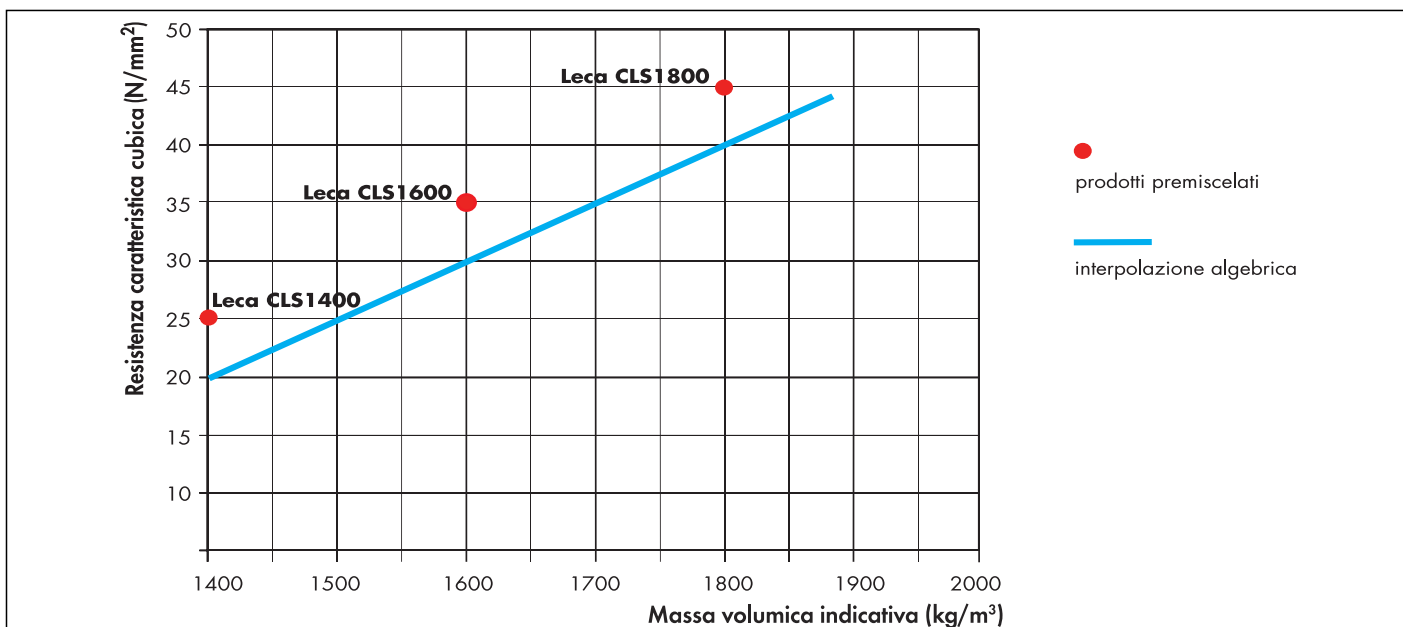
Le classi di resistenza ammesse per **impieghi strutturali** sono quelle di seguito riportate (cfr. tabella C4.1.V. della Circolare 02.02.2009):

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

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, Leca Strutturale o Leca Terrecotte (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.

DIAGRAMMA ANDAMENTO RESISTENZE-MASSA VOLUMICA



RESISTENZA A TRAZIONE DIRETTA

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

- per calcestruzzo di classe $\leq$ LC 50/55 $f_{lctm} = 0,30 f_{lck}^{2/3} \eta_1$
- per calcestruzzo di classe $>$ LC 50/55 $f_{lctm} = 2,12 \ln[1+(f_{lcm}/10)] \eta_1$

dove $\eta_1 = 0,40 + 0,60 \rho/2200$

dove ρ = valore limite superiore della massa volumica del calcestruzzo, per la classe di massa volumica di appartenenza in kg/m^3 ;

dove f_{lctm} = valore della resistenza media cilindrica a compressione in N/mm^2 .

MODULO DI ELASTICITÀ

La stima del modulo elastico secante a compressione a 28 giorni può essere ottenuta dall'espressione:

$$E_{lcm} = 22000 \left(\frac{f_{lcm}}{10} \right)^{0,3} \eta_E \quad \text{N/mm}^2$$

essendo:

f_{lcm} = valore della resistenza media cilindrica a compressione in N/mm^2
($f_{lck} + 8 \text{ N/mm}^2$)

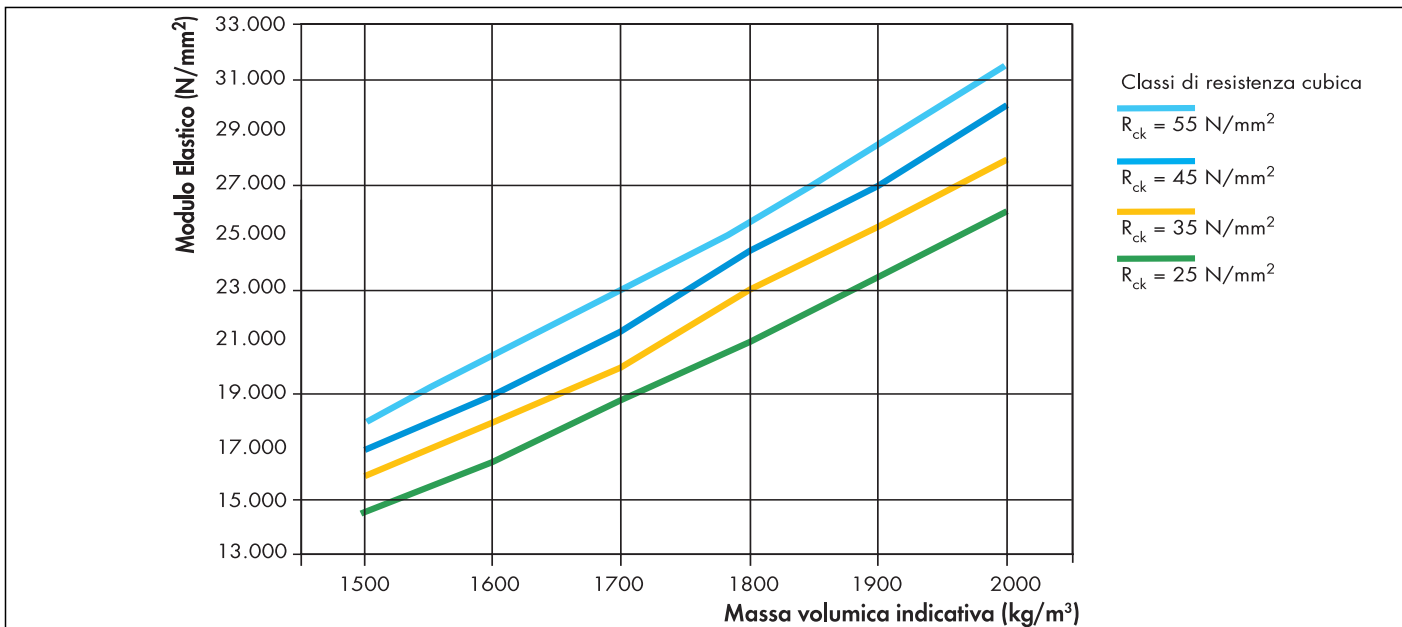
ρ = valore limite superiore della massa volumica del calcestruzzo, per la classe di massa volumica di appartenenza in kg/m^3 .

$$\eta_E = \left(\frac{\rho}{2200} \right)^2$$

I prodotti premiscelati in sacco Leca CLS, sottoposti a certificazione secondo Norma UNI presso i laboratori ENCO, hanno ottenuto i seguenti risultati (disponibili on-line su www.leca.it):

- Leca CLS 1400: $E_{lcm} = 15000 \text{ N/mm}^2$
- Leca CLS 1600: $E_{lcm} = 20000 \text{ N/mm}^2$
- Leca CLS 1800: $E_{lcm} = 25000 \text{ N/mm}^2$

DIAGRAMMA ANDAMENTO MODULO ELASTICO - MASSA VOLUMICA E RESISTENZA



Cubetto sottoposto a rottura.

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/m^3 , 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 per 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.

PRESTAZIONI DEL CALCESTRUZZO INDURITO

	Leca CLS 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: dati sperimentali

	Leca CLS 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: dati sperimentali



Pavimento industriale in copertura carrabile.

RITIRO

Il ritiro dipende da molti fattori, quale la classe di resistenza del calcestruzzo, il rapporto acqua/cemento, la classe di massa volumica e la resistenza alla frantumazione del granulo di argilla espansa; nel calcestruzzo strutturale leggero il ritiro **si riduce** all'aumentare della massa volumica del conglomerato e dell'impiego di Leca Strutturale e Leca Terrecotte.

In mancanza di sperimentazione diretta i valori di riferimento ammissibili, ritiro finale $\epsilon_{ics}(t_{\infty}, t_0)$, sono desumibili dalla seguente tabella (ambiente con umidità relativa pari a circa 75%):

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

Essendo:

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

α = dimensione fittizia della sezione pari a $\frac{2A_c}{u}$

A_c = 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<16/20, per i quali vale 1,3.

Il coefficiente finale di viscosità vale (ambiente con umidità relativa pari a circa 75%):

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

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 fare 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 $14 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

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

COEFFICIENTE DI CONDUCIBILITÀ TERMICA

I valori di λ_{cl} 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_{cl} (W/mK)
1400	0,50
1600	0,57
1800	0,85
2000	1,10

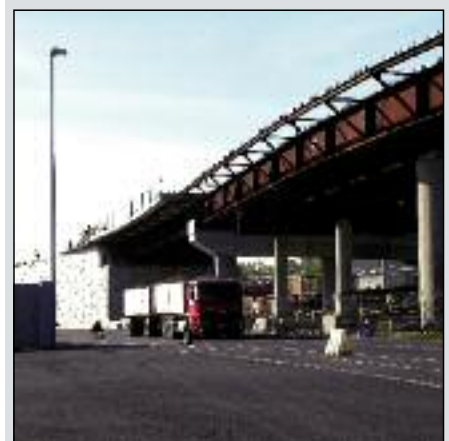
CALORE SPECIFICO

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

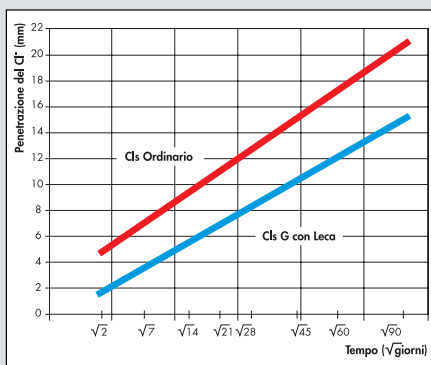
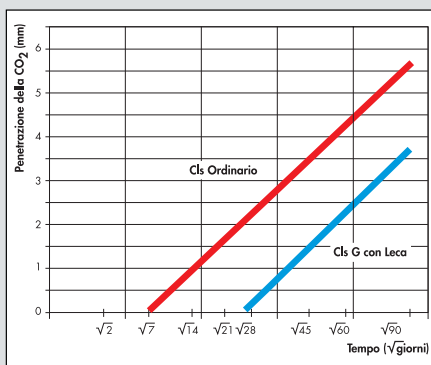
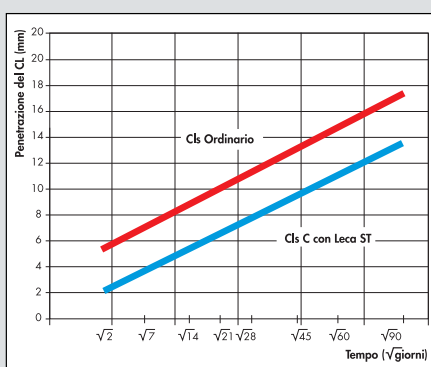
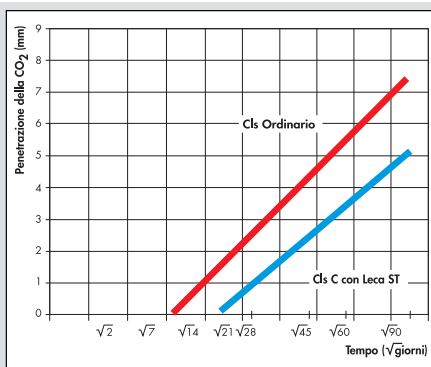
Conformemente a quanto riportato nella EN 206-1, punto 5.5.4 "Resistenza al fuoco", il calcestruzzo è classificato EURO 0 e non necessita di prove specifiche. Per i calcestruzzi leggeri di argilla espansa si applicano i criteri di dimensionamento utilizzati per i calcestruzzi tradizionali esposti ad 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 www.leca.it.



Viadotto a Marghera (VE)

PRESTAZIONI DEL CALCESTRUZZO INDURITO



Andamento della penetrazione della CO_2 e dei cloruri all'interno del calcestruzzo leggero confezionato con Leca Strutturale o Leca Terrecotte rispetto a quelli registrati per un calcestruzzo ordinario di pari resistenza meccanica, con identico quantitativo di cemento e rapporto acqua/cemento. (ricerca ENCO 2000)

DURABILITÀ

Il raggiungimento di adeguati livelli di durabilità, nei confronti dei fattori ambientali che causano degrado del conglomerato e delle armature, è condizionato da **molte 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.

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.

COPRIFERRO

Il copriferro minimo, in funzione della classe di esposizione, è di seguito riportato:

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

Valori di $C_{min,dur}$ per strutture in c.a.

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

Valori di $C_{min,dur}$ per strutture in c.a.p.



Viadotto strada statale Isernia - Castel di Sangro (AQ)

CLASSI DI ESPOSIZIONE

La prestazione minima del calcestruzzo è riportata nella tabella seguente, i cui valori sono tratti dalla Norma UNI EN 206-1 (2006) in accordo a quanto disposto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni in vigore.

Denominazione della classe	Descrizione dell'ambiente	Esempi informativi di situazioni a cui possono applicarsi le classi di esposizione	Resistenza a compressione caratteristica cubica
1 Assenza di rischio di corrosione o attacco			
X0	Per calcestruzzo privo di armatura 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.	$R_{ck} \geq 15 \text{ MPa}$
2 Corrosione indotta da carbonatazione			
XC1	Asciutto o permanentemente bagnato.	Calcestruzzo all'interno di edifici con bassa umidità relativa. Calcestruzzo costantemente immerso in acqua.	$R_{ck} \geq 25 \text{ MPa}$
XC2	Bagnato, raramente asciutto.	Superfici di calcestruzzo contatto con acqua per molto tempo. Molte fondazioni.	$R_{ck} \geq 30 \text{ MPa}$
XC3	Umidità modesta.	Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità relativa moderata oppure elevata.	$R_{ck} \geq 37 \text{ MPa}$
XC4	Ciclicamente bagnato ed asciutto.	Calcestruzzo esposto all'esterno protetto dalla pioggia. Superfici di calcestruzzo soggette al contatto con acqua, non nella classe di esposizione XC2.	$R_{ck} \geq 37 \text{ MPa}$
3 Corrosione indotta da cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare			
XD1	Umidità moderata.	Superfici in calcestruzzo esposte a nebbia salina.	$R_{ck} \geq 37 \text{ MPa}$
XD2	Bagnato, raramente asciutto.	Piscine. Calcestruzzo esposto ad acque industriali contenenti cloruri.	$R_{ck} \geq 37 \text{ MPa}$
XD3	Ciclicamente bagnato ed asciutto.	Parti di ponti esposte a spruzzi contenenti cloruri. Pavimentazioni. Pavimentazioni di parcheggi.	$R_{ck} \geq 45 \text{ MPa}$
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.	$R_{ck} \geq 37 \text{ MPa}$
XS2	Permanentemente sommerso.	Parti di strutture marine.	$R_{ck} \geq 45 \text{ MPa}$
XS3	Zone esposte alle onde oppure alla marea.	Parti di strutture marine.	$R_{ck} \geq 45 \text{ MPa}$
5 Attacco dei cicli gelo/disgelo con o senza sali disgelanti			
XF1	Moderata saturazione d'acqua, senza impiego di agente antigelo.	Superfici verticali di calcestruzzo esposte alla pioggia e al gelo.	$R_{ck} \geq 37 \text{ MPa}$
XF2	Moderata saturazione d'acqua, con uso di agente antigelo.	Moderata saturazione d'acqua, con uso di agente antigelo.	$R_{ck} \geq 30 \text{ MPa}$
XF3	Elevata saturazione d'acqua, senza agente antigelo.	Superfici orizzontali esposte alla pioggia e al gelo.	$R_{ck} \geq 37 \text{ MPa}$
XF4	Elevata saturazione d'acqua, con agente antigelo oppure con acqua di mare.	Strade e impalcati da ponte esposti agli agenti antigelo.	$R_{ck} \geq 37 \text{ MPa}$
6 Attacco chimico			
XA1	Ambiente chimico debolmente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1		$R_{ck} \geq 37 \text{ MPa}$
XA2	Ambiente chimico moderatamente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1		$R_{ck} \geq 37 \text{ MPa}$
XA3	Ambiente chimico fortemente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1		$R_{ck} \geq 45 \text{ MPa}$

REGOLE PER IL CALCOLO



Il volume tecnico è disponibile gratuitamente on-line su www.leca.it.



RESISTENZE DI CALCOLO

I criteri generali delle regole di calcolo sono perfettamente coerenti con quelli che si adottano per il **calcestruzzo ordinario**, salvo l'adozione di alcuni specifici coefficienti necessari per la progettazione con il calcestruzzo leggero strutturale.

Ad esempio, la resistenza a compressione di calcolo vale:

$$f_{lcd} = \frac{\alpha_{lcc} f_{lck}}{\gamma_{lc}}$$

nella quale:

α_{lcc} 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_{lck} è la resistenza caratteristica cilindrica a compressione a 28 giorni.

La resistenza a trazione di calcolo si valuta secondo l'espressione seguente:

$$f_{lctd} = \frac{\alpha_{lcc} f_{lctk,0,05}}{\alpha_{lc}}$$

In cui, oltre ai simboli definiti in precedenza, $f_{lctk,0,05}$ è il valore caratteristico, frattile inferiore di ordine 5%, della resistenza a trazione del calcestruzzo.

CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

Il calcolo delle sollecitazioni si esegue secondo gli stessi criteri assunti alla base del calcolo di strutture in cemento armato normale.

In generale si potrà fare riferimento ad una delle seguenti ipotesi di modellazione del comportamento strutturale:

- analisi elastica lineare;
- analisi elastica lineare con ridistribuzioni (esclusivamente per le verifiche nei confronti degli stati limite ultimi);
- modelli a plasticità concentrata (esclusivamente per le verifiche nei confronti degli stati limite ultimi);
- analisi non lineare.

VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU) E DI ESERCIZIO (SLE)

All'interno del testo redatto dal Prof. Sanpaoli, è possibile trovare i seguenti approfondimenti:

- Verifiche allo SLU per sollecitazioni che provocano tensioni normali;
- Verifiche allo SLU per sollecitazioni che provocano tensioni taglianti;
- Elementi sprovvisti di armature a taglio;
- Elementi provvisti di armature a taglio (es. staffe);
- Verifiche allo SLU per sollecitazioni che provocano tensioni torcenti;
- Verifiche per stati di sollecitazione composta: flessione, torsione e taglio;
- Punzonamento;
- Elementi snelli;
- Verifiche di fessurazione allo SLE;
- Verifiche di Tensione allo SLE;
- Verifiche di deformazione allo SLE.

In particolare le verifiche nei confronti degli SLU e SLE si eseguono conformemente alle indicazioni valide per le strutture in calcestruzzo ordinario, adeguate in relazione alle specificità del calcestruzzo leggero.

SICUREZZA SISMICA

LA SICUREZZA SISMICA

Gli interventi di recupero delle strutture esistenti richiedono la **verifica della sicurezza sismica dell'intero edificio**.

L'utilizzo del **calcestruzzo leggero strutturale con argilla espansa assicura diversi vantaggi**. In primo luogo le strutture miste (nuova soletta interconnessa al solaio esistente) beneficiano di una **minore massa e quindi minori pesi**, sino al 40% in meno rispetto al calcestruzzo tradizionale; ne consegue una **risposta sismica attenuata** a tutto vantaggio della **sicurezza statica dell'edificio**.

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:

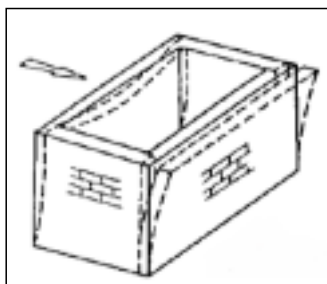
- L'impiego del calcestruzzo leggero strutturale di argilla espansa come consolidamento dei solai esistenti in legno **può ridurre le forze di taglio sismiche fino a ca. il 10%**. Questo è dovuto alla minore incidenza del peso delle strutture orizzontali.
- Disponendo di un **modulo di elasticità minore**, il calcestruzzo leggero strutturale conferisce ai divisori orizzontali una **maggiore deformabilità** che si traduce in periodi di vibrazione maggiori e quindi **accelerazioni sulla struttura inferiori**.
- In un edificio con solai in legno, il consolidamento delle strutture orizzontali con calcestruzzo leggero **favorisce la sicurezza delle pareti perimetrali di tamponamento non caricate direttamente dai solai** con l'importante risultato di **poterne evitare il collasso** (in funzione della tipologia dell'edificio). Infatti l'impiego del calcestruzzo leggero può produrre forze sismiche inferiori nella struttura (quale ad esempio minore domanda di taglio) e quindi il valore di **coefficiente di sicurezza è più alto** rispetto a quello ottenuto con l'impiego di calcestruzzo normale.

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

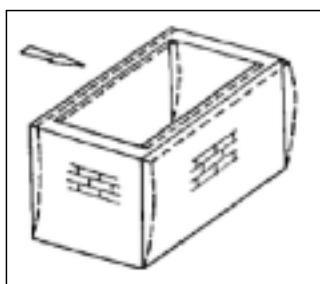
CARATTERISTICHE DELLA RISPOSTA SISMICA DEGLI EDIFICI IN MURATURA

Per evitare i meccanismi di collasso locali è necessaria un'**adeguata connessione delle pareti fra loro e con i solai**, che devono comportarsi come **diaframmi rigidi nel proprio piano** (contribuendo a vincolare la deformazione fuori piano dei muri prevenendone il collasso mantenendo la configurazione scatolare).

I **solai lignei**, ad esempio, possono essere rinforzati e irrigiditi nei confronti delle distorsioni nel proprio piano **sovrapponendo una soletta in calcestruzzo armato con una rete in acciaio elettrosaldato**. La soletta deve essere connessa a taglio al solaio in legno e collegata alle pareti.



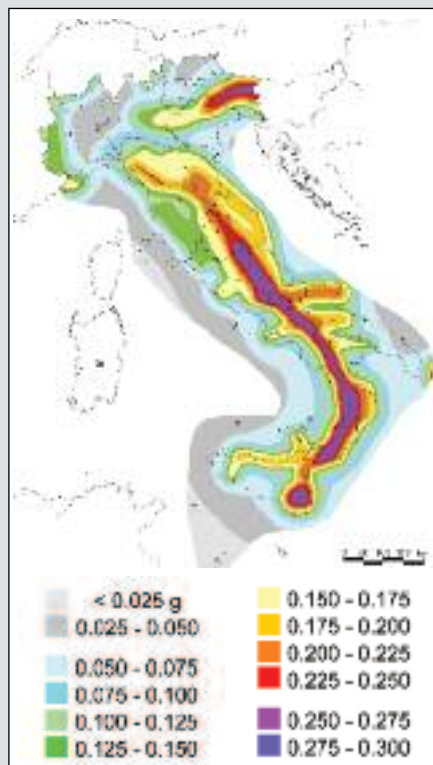
Meccanismo di collasso fuori piano



Collasso fuori piano impedito, diaframma rigido.

BENEFICI DELLA RIDUZIONE DEL PESO SULLA STRUTTURA

- Riduzione delle masse sismiche partecipanti.
- Riduzione della domanda sismica in termini di taglio e flessione negli elementi.
- Minore carico assiale sui pilastri, miglioramento del comportamento duttile.
- Riduzione dei carichi in fondazione.



Classificazione sismica del territorio italiano in funzione dei valori di accelerazione orizzontale a_g .

In base all'OPCM 3274, il territorio nazionale può essere suddiviso nelle 4 zone di intensità sismica:

- Zona 1: $a_g/g > 0,25$
- Zona 2: $0,15 < a_g/g < 0,25$
- Zona 3: $0,05 < a_g/g < 0,15$
- Zona 4: $a_g/g < 0,05$

ESEMPIO DI CALCOLO SOLAIO MISTO IN LEGNO-CLS

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Calcestruzzo leggero

- $f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$
- $\rho = \text{si assume } 1650 \text{ kg/m}^3$
per il CLS indurito (come indicato dalla normativa)
- $\eta_1 = 0,836$
- $\eta_E = 0,529$
- $E_c = 17.000 \text{ N/mm}^2$

Legno

(di conifera classificato in C24)

- $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$ massa vol. caratteristica;
- $\rho_m = 420 \text{ kg/m}^3$ massa volumica media;
- $f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2$ per sollecitazioni flessionali;
- $f_{c0,k} = 21 \text{ N/mm}^2$ in direzione parallela alle fibre;
- $f_{t0,k} = 14 \text{ N/mm}^2$ a trazione parallela alle fibre;
- $f_{v,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$ sollecitazioni taglianti;
- $E_{0,m} = 11 \text{ kN/mm}^2$, medio parallelo alle fibre;
- $E_{0,05} = 7400 \text{ N/mm}^2$, caratt. parallelo alle fibre;
- $E_{90,m} = 370 \text{ N/mm}^2$, medio ortogonale alle fibre;
- $G_{mean} = 690 \text{ N/mm}^2$ medio tangenziale.

Connettori

- $k_{ser} = \eta_1 6,80 = 5,69 \text{ kN/mm}$, modulo di scorrimento istantaneo;
- $k_{uLC} = \eta_1 3,27 = 2,73 \text{ kN/mm}$, modulo di scorrimento allo stato limite ultimo per calcestruzzo leggero strutturale;
- $F_k = \eta_1 19,6 = 16,4 \text{ kN}$, resistenza caratteristica della connessione;
- $F_d = K_{mod} F_k / \gamma_M = 0,8 \times 16,4 / 1,5 = 8,7 \text{ kN}$, resistenza di calcolo della connessione.



Per approfondimenti, si rimanda al testo "Calcestruzzo Leggero Strutturale di argilla espansa" redatto dai professori Sanpaulesi e Formichi ed edito da Laterlite disponibile anche on-line su www.leca.it.

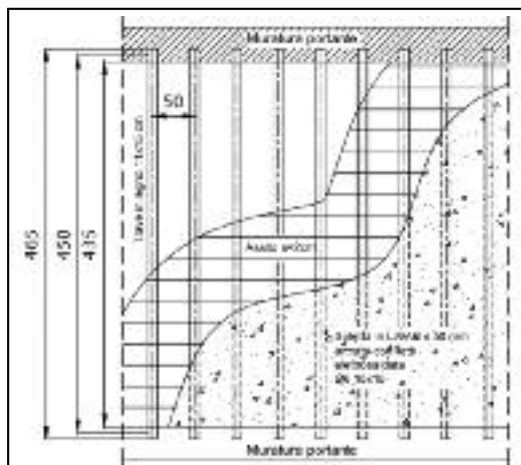
I calcestruzzi leggeri strutturali, grazie all'ampia gamma di massa volumica e resistenze, trovano largo impiego in numerose applicazioni sia per piccoli interventi di ripristino che per importanti opere ingegneristiche.

Per offrire una guida pratica all'impiego dei Leca CLS, all'interno del volume tecnico "Calcestruzzo leggero strutturale di argilla espansa" redatto dai professori Sanpaulesi e Formichi (disponibile su www.leca.it) sono state calcolate e verificate tre applicazioni molto diffuse:

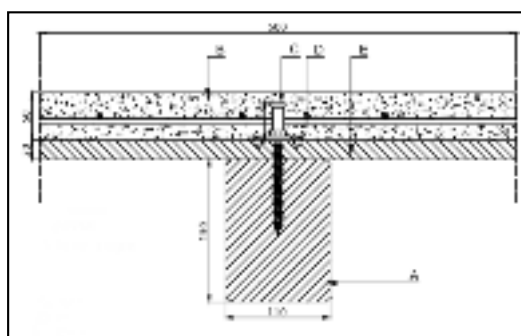
- solaio misto legno-calcestruzzo leggero;
- soletta composta in calcestruzzo leggero e lamiera grecata;
- trave di impalcato in calcestruzzo leggero.

ESEMPIO DI CALCOLO SOLAIO MISTO IN LEGNO-CLS LEGGERO

Di seguito si presenta una sintesi del **calcolo di verifica di un solaio a semplice orditura con struttura composta in legno-clc leggero strutturale**. La **solidarizzazione** della soluzione avviene a mezzo **pioli in acciaio di passo variabile** a tratti (maggiore vicino gli appoggi e minore in mezzeria).



Solaio a semplice orditura con struttura composta legno-calcestruzzo leggero.



Sezione del travetto tipo misto in legno-calcestruzzo.

Legenda:

- A. Trave di legno;
- B. soletta in calcestruzzo leggero strutturale;
- C. connettore;
- D. rete elettrosaldata $\phi 6 \text{ } 15 \times 15$;
- E. tavolato.

ANALISI DEI CARICHI

Peso proprio del solaio.

Soletta in calcestruzzo (LWAC D1,7)	$0,05 \text{ m/m}^2 \times 1650 =$	$0,83 \text{ kN/m}^2$
Assito in tavole $s=2,0 \text{ cm}$	$0,02 \text{ m/m}^2 \times 420 =$	$0,80 \text{ kN/m}^2$
Trave in legno $11 \times 15 \text{ cm}$	$0,11 \times 0,15 \times 420 / 0,5 =$	$0,14 \text{ kN/m}^2$
Totale		$1,05 \text{ kN/m}^2$

Carico permanente portato.

Massetto alleggerito tipo Lecamix $s=0,8$	$1000 \times 0,8$	$0,80 \text{ kN/m}^2$
Tramezzatura in forati sp.8 cm + due strati di intonaco ($p < 4,00 \text{ kN/m}^2$)		$1,60 \text{ kN/m}^2$
Pavimento		$0,40 \text{ kN/m}^2$
Totale		$2,80 \text{ kN/m}^2$

I carichi di esercizio considerati sono di 2 kN/m^2 (ambienti ad uso abitativo) e 1 kN/m^2 (personale e attrezzature in fase di getto).

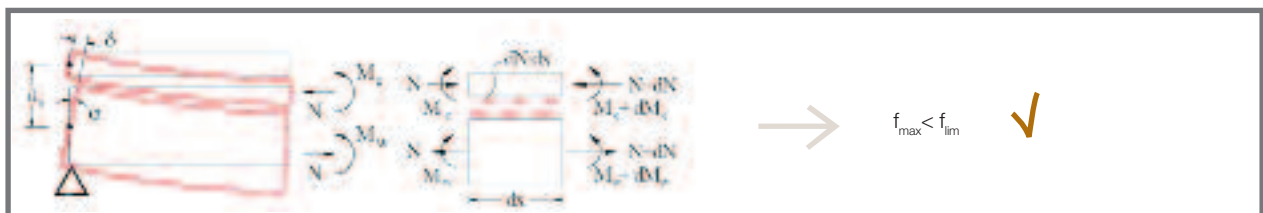
FASE DI VERIFICA

Fase 1: viene stimata la deformabilità per la verifica di supporti intermedi rompitratta.

con il calcestruzzo leggero si impegna molto meno la struttura esistente con indiscutibili vantaggi operativi (supporti intermedi non sempre necessari)

Fase 2: sulla sezione collaborante calcestruzzo leggero-legno si valutano le azioni interne secondo le rispettive rigidzze.

Verifiche agli SLE



Verifiche agli SLU

	Trave in legno $\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} = \left(\frac{2,93}{11,2}\right)^2 + \frac{9,94}{12,8} = 0,85 \leq 1,0$ ✓
	Soletta $M_d = 1,10 \text{ kNm}; N_d = 48,3 \text{ kN}$ ✓
	Connettori $V_p = \gamma \frac{S_c}{J_{eff}} s_{min} V_{max} = 0,260 \frac{1396}{8267} 10 \times 9,63 = 4,23 \text{ kN} < 8,7 \text{ kN}$ ✓
	$M_{Rd} (1,20 \text{ kNm}) \gg di M_d (0,18 \text{ kNm})$ ✓
	$M_{Rd} (0,55 \text{ kNm}) > di M_d (0,47 \text{ kNm})$ ✓

CONCLUSIONI

Dall'analisi dell'esempio di calcolo, si può evincere come l'impiego di un **calcestruzzo leggero strutturale** sia **assai vantaggioso nella verifica della sezione collaborante**. In aggiunta il **peso proprio** delle membrature strutturali è ridotto di circa il 30% rispetto al caso del calcestruzzo ordinario, potendo utilizzare sezioni di dimensioni (e inerzia) adeguate per contenere gli effetti deformativi (pur garantendo una complessiva sensibile riduzione dei carichi permanenti). Quest'ultimo aspetto è particolarmente interessante nell'ambito del calcolo di strutture in zona sismica.

CONSIGLI PER LA CONFEZIONE



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

LECACLS: CALCESTRUZZI LEGGERI STRUTTURALI PREMISCELATI

LecaCLS 1400-1600-1800 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 o Leca Terrecotte);
- circa i 2/3 dell'acqua d'impasto;
- rapida miscelazione e successivo inserimento degli altri 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 POMPA 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 tipo per il confezionamento di calcestruzzi strutturali leggeri 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.

È possibile richiedere all'assistenza tecnica Laterlite (tel. 02 48011962) la visita di un tecnico presso il cantiere o l'impianto di produzione di calcestruzzo per effettuare una prova di pompaggio.

CALCESTRUZZI STRUTTURALI LECA

Massa volumica (UNI EN 206-1) kg/m ³ circa	1500	1600
Tipo di Leca	Leca	Leca Strutturale
Massa volumica a fresco kg/m ³	circa 1.650	circa 1.750
Conducibilità termica a secco (UNI 10351) W/mK	0,47	0,54
Resistenza caratteristica a compressione a 28 gg. N/mm ²	circa 15	circa 25
Resistenza media a compressione a 28 gg. N/mm ²	circa 20	circa 30
E (modulo elastico) N/mm ²	circa 10.000	circa 15.000

Formulazione indicativa per 1 m³ di calcestruzzo reso

Cemento 42,5 R	400 kg	400 kg
Leca 3-8	270 kg	-
Leca Strutturale 0-15	-	510 kg
Sabbia 0-4 mm	760 kg	620 kg
Superfluidificante	4,5 kg	4,0 kg
Acqua	180 litri	160 litri
Rapporto acqua/cemento	0,45	0,40

CALCESTRUZZI STRUTTURALI LECA AD ALTE PRESTAZIONI

Massa volumica (UNI EN 206-1) kg/m ³ circa	1700	1800
Tipo di Leca	Leca Strutturale	Leca Strutturale
Massa volumica a fresco kg/m ³	circa 1.850	circa 1.900
Conducibilità termica a secco (UNI 10351) W/mK	0,63	-
Resistenza caratteristica a compressione a 28 gg. N/mm ²	circa 30	circa 40
Resistenza media a compressione a 28 gg. N/mm ²	circa 35	circa 45
E (modulo elastico) N/mm ²	circa 20.000	circa 25.000

Formulazione indicativa per 1 m³ di calcestruzzo reso

Cemento 52,5 R	480 kg	480 kg
Leca Strutturale 0-15	380 kg	310 kg
Sabbia 0-4 mm	750 kg	910 kg
Superfluidificante	4,5 kg	4,5 kg
Acqua	190 litri	190 litri
Rapporto acqua/cemento	0,40	0,40

CALCESTRUZZI STRUTTURALI LEGGERI PREMISCELATI

Calcestruzzo leggero strutturale LecaCLS 1400 (o LecaCLS 1400Ri) premiscelato in sacchi a base di argilla espansa LecaPiù (assorbimento di umidità circa 1% a 30'), inerti naturali, cemento tipo Portland e additivi.

Massa volumica indicativa del calcestruzzo a 28 gg. circa 1.400 Kg/m³.

Resistenza caratteristica a compressione a 28 giorni (media a 7 giorni per LecaCLS 1400Ri) determinata su cubetti confezionati a piè d'opera 25 N/mm².

Confezionamento e getto in opera secondo le indicazioni del produttore.

Calcestruzzo strutturale LecaCLS 1600 e LecaCLS 1800 premiscelato in sacchi a base di argilla espansa Strutturale, inerti naturali, cemento tipo Portland e additivi.

Massa volumica indicativa del calcestruzzo a 28 gg. circa 1600 Kg/m³ (LecaCLS 1600) e circa 1800 Kg/m³ (LecaCLS 1800). Resistenza caratteristica a compressione a 28 giorni determinata su cubetti confezionati a piè d'opera 35 N/mm² (LecaCLS 1600) e 45 N/mm² (LecaCLS 1800).

Confezionamento e getto in opera secondo le indicazioni del produttore.

CALCESTRUZZI STRUTTURALI LEGGERI PRECONFEZIONATI

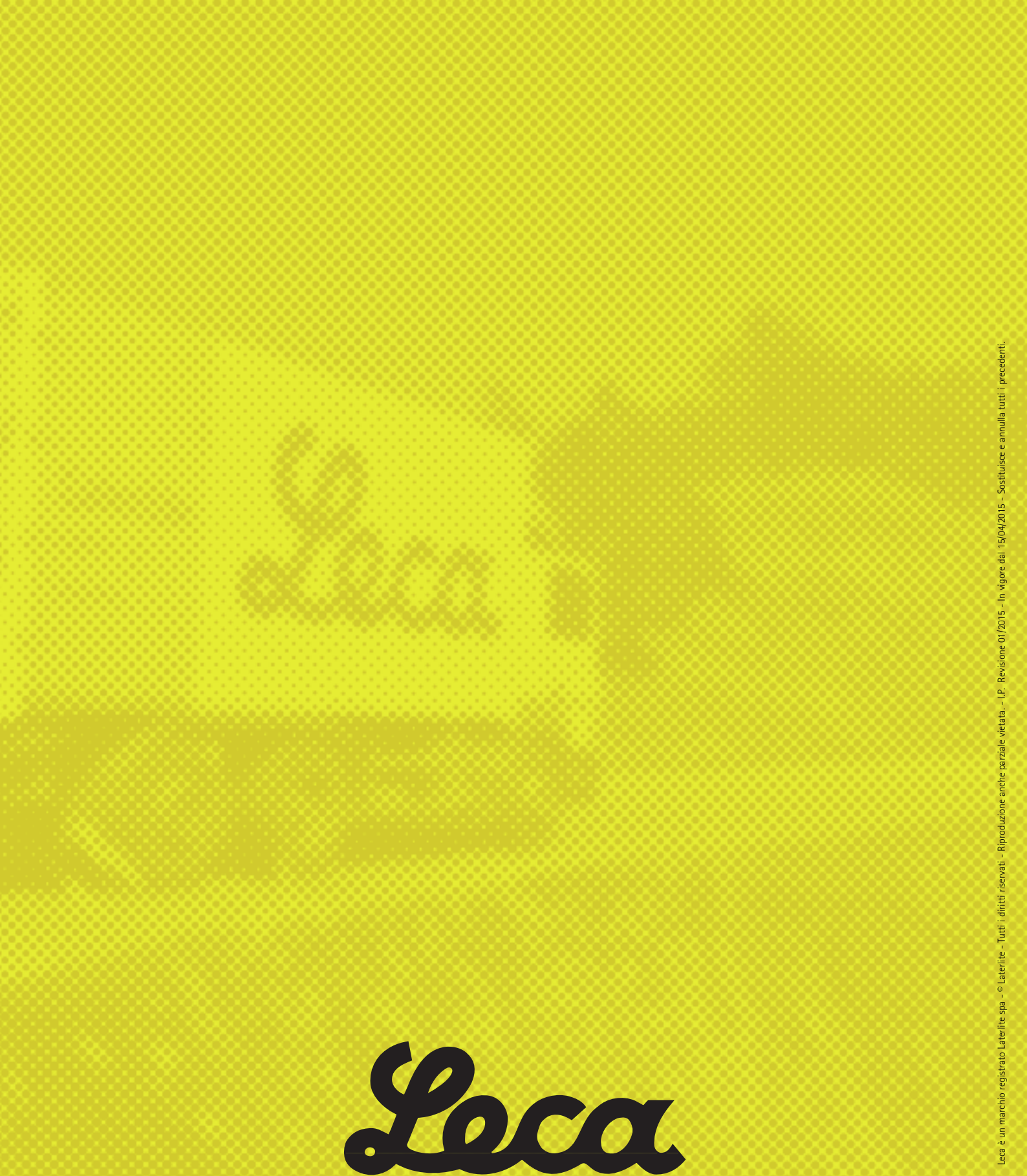
Calcestruzzo strutturale leggero ed isolante

Calcestruzzo strutturale leggero costituito da argilla espansa Leca, inerti naturali, cemento ... e additivi. Massa volumica indicativa del calcestruzzo a 28 gg ... (da 1.400 a 1.600 kg/m³). Resistenza caratteristica a compressione a 28 giorni determinata su cubetti confezionati a piè d'opera ... (da 15 a 25 N/mm²).

Calcestruzzo strutturale leggero ad alta resistenza

Calcestruzzo leggero strutturale costituito da argilla espansa Leca Strutturale, inerti naturali, cemento ... e additivi. Massa volumica indicativa del calcestruzzo a 28 gg. ... (da 1.550 sino a 1.850 kg/m³). Resistenza caratteristica a compressione a 28 giorni determinata su cubetti confezionati a piè d'opera ... (da 20 a 45 N/mm²).





Leca

soluzioni leggere e isolanti

Laterlite

Assistenza tecnica

20149 Milano - via Correggio, 3
Tel. 02 48011962 - Fax 02 48012242
www.leca.it - infoleca@leca.it