

POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Materiali lapidei: prove tecniche, loro significato e relative prove di laboratorio - Resistenza alla compressione

Original

Materiali lapidei: prove tecniche, loro significato e relative prove di laboratorio - Resistenza alla compressione / Primavori, Piero; Bellopede, Rossana. - In: PANGEA. - ISSN 2704-7458. - 8(2022), pp. 62-71.

Availability:

This version is available at: 11583/2960408 since: 2022-04-01T18:56:17Z

Publisher:

geam

Published

DOI:

Terms of use:

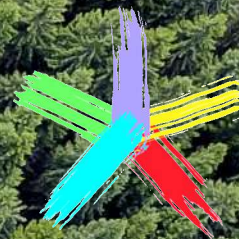
This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

ISSN 2704-7458

pangea



Periodico dell'Associazione
Georisorse e Ambiente -
GEAM
PANGEA - Quadrimestrale
N.8 novembre-febbraio 2022

MATERIALI LAPIDEI: PROPRIETA' TECNICHE, LORO SIGNIFICATO E

RELATIVE PROVE DI LABORATORIO

Parte 2: La resistenza alla compressione

Dr. Piero Primavori - Libero Professionista (PSC-Primavori Stone Consulting)

pieprima@gmail.com

Prof.ssa Rossana Bellopede – Politecnico di Torino - Dipartimento di Ingegneria Dell'ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture rossana.bellopede@polito.it

INTRODUZIONE

Nel numero 6 di PANGEA (Marzo-Giugno 2021) è stato pubblicato il primo articolo della *Rubrica* dedicata alle proprietà tecniche dei materiali lapidei. In esso sono state trattate due proprietà: la massa volumica e la porosità.

In questo numero la *Rubrica* prosegue prendendo in esame un'altra proprietà, la resistenza a compressione, valutabile attraverso la norma EN 1926 (2006).

1. LA RESISTENZA A COMPRESSIONE

In meccanica, la compressione è uno degli sforzi elementari cui può essere sottoposto un corpo (insieme alla trazione, la flessione, il taglio e la torsione). In particolare, un corpo è soggetto a compressione quando su di esso agisce un sistema di forze convergenti; in termini più semplici, quando questo sistema di forze tende idealmente ad "accorciare" il corpo stesso.

Nel linguaggio tecnico è abituale dire che i carichi "sollecitano" una struttura e questa subisce una "deformazione".

I corpi soggetti a compressione (ma anche agli altri sforzi elementari menzionati in precedenza) reagiscono agli sforzi trasmessi con la loro resistenza intrinseca attraverso delle tensioni (anch'esse di compressione, e di trazione) che cercano di equilibrare gli sforzi subiti affinché il corpo non si lesioni, o crolli. Un corpo (o un materiale) sollecitato dall'applicazione di un carico (= sforzo) tende a deformarsi in risposta alla sollecitazione stessa, cioè a mutare la sua forma iniziale. Se il carico applicato è di piccola intensità, si provoca nel materiale una deformazione che può annullarsi togliendo la sollecitazione, cioè si induce una deformazione reversibile o elastica, il cui valore è proporzionale a quello del carico. Aumentando indefinitamente il carico, lo sforzo supererà la capacità di resistenza del corpo/materiale, il quale, prima o poi, cederà, rompendosi.

Immaginiamo di condurre un semplice esperimento: prendiamo un normale elastico e tiriamolo con due mani (questo è il carico che sollecita) (Figura 1a); esso sarà soggetto solo a trazione (reazione) e si allungherà (deformazione); se invece prendiamo un pezzo di cera (un lumino, una candela ecc.) (Figura 1b) e lo comprimiamo con una mano (questo è il carico che sollecita), esso sarà soggetto solo a compressione (reazione) e si accorcerà (deformazione).



Fig. 1: rappresentazione schematica di un'azione di trazione ed una di compressione
(da:www.darioflaccovio.it/blog/informazione-tecnica, modificato)

A un certo punto, tirando troppo l'elastico, questo si spezzerà; analogamente, comprimendo troppo il pezzo di cera, questo si romperà.

Se ripetiamo l'esperimento con una corda, tirandola (Figura 2a), e un pezzo di sughero (ad esempio un tappo), comprimendolo (Figura 2b), è possibile verificare che, per quanto forti siano la corda, che si allungherà leggermente, e il sughero, che si accorcerà leggermente, essi non si romperanno. Nello stesso esperimento, condotto infine con un filo di ferro (Figura 2c) e un mattone (Figura 2d), oltre a non ottenere la rottura per entrambi, non riusciremo ad apprezzare nemmeno la deformazione, sebbene quest'ultima sia sempre presente.

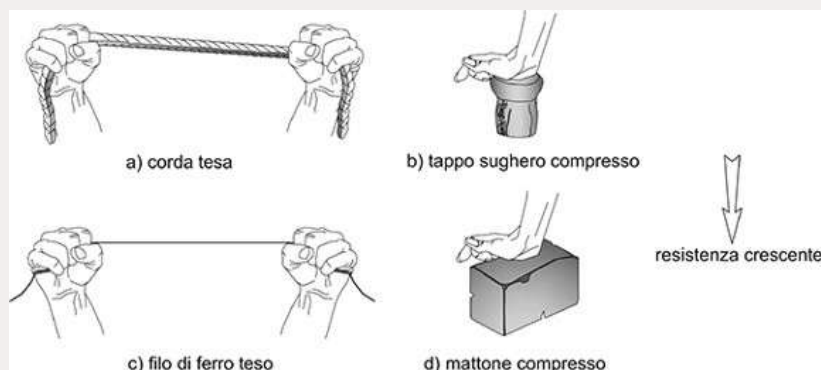


Fig. 2. Rappresentazione schematica di un'azione di trazione ed una di compressione analoghe a quelle della Figura 1 ma condotte su corpi a minore deformabilità e resistenza crescente
(da:www.darioflaccovio.it/blog/informazione-tecnica, modificato)

Gli esempi riportati dimostrano solamente qualcosa che fa parte della nostra esperienza quotidiana, cioè materiali diversi si comportano in maniera differente nei confronti degli sforzi elementari. Sottoposti allo stesso carico alcuni si rompono e altri no, così come si allungano, o si accorciano, in maniera differente.

I materiali lapidei, al pari di ogni altro materiale, sia esso da costruzione o no, seguono anch'essi questi meccanismi.

La resistenza alla compressione di un materiale lapideo, qualitativamente, è la resistenza opposta alle sollecitazioni che tendono a romperlo per schiacciamento. Essa rappresenta il carico unitario necessario per portare alla rottura un provino.

Storicamente, quando la pietra veniva largamente impiegata con un ruolo strutturale - cioè con funzione portante - la resistenza alla compressione era un parametro di importanza assoluta, dal momento che ogni elemento in pietra si trovava a dover sostenere carichi permanenti, cioè il peso degli elementi ad esso sovrastanti (Figura 3), nonché quello di tutte le altre infrastrutture eventualmente presenti.



Fig 3. In passato la pietra, molto più di oggi, aveva una funzione portante, dovendo sostenere carichi in forma permanente. In queste situazioni la conoscenza della resistenza alla compressione è fondamentale [Alhambra di Granada, Spagna; *marmo di Macael*]

Oggidi la funzione strutturale viene espletata da altri materiali (es.: calcestruzzo, acciaio); la pietra naturale è impiegata **soprattutto con funzioni di rivestimento e copertura**, limitando i casi in cui essa riveste la funzione portante. Ciononostante essa resta a buon diritto un parametro della massima rilevanza, e il test per la sua valutazione rimane **uno dei test di maggior utilità** e, come tale, uno tra i più utilizzati in ambito internazionale poiché dà un'idea della resistenza globale di un materiale lapideo. Anche se la pietra, una volta in opera, non è sollecitata direttamente per compressione, sottoporla egualmente a questo test fornisce infatti indicazioni preziosissime, che hanno comunque rilevanza e significato sia per la caratterizzazione della pietra stessa, sia per gli impieghi cui essa può venir destinata. Poter desumere molti altri caratteri di un lapideo dalla sua resistenza a compressione, anche laddove non sarebbe strettamente necessario eseguire questa prova, rende quindi la prova stessa interessante in ogni caso.

Nel precedente articolo di questa *Rubrica* [n° 6 di PANGEA (Marzo-Giugno 2021)], si è parlato di massa volumica e di porosità, specificando che i vuoti (pori) di una roccia non partecipano ad alcun tipo di resistenza meccanica e che hanno una compressibilità infinita; se noi sottoponiamo infatti una pietra a sollecitazioni meccaniche di vario tipo (e la compressione è una sollecitazione pienamente meccanica), la resistenza è affidata interamente alle parti solide della pietra, cioè al suo scheletro, non ai suoi vuoti. Anzi: essendo i vuoti altamente comprimibili, più ve ne sono, più una pietra tenderà a frantumarsi facilmente.

Ecco allora che registrare in un test a compressione valori non elevati è indice di una struttura interna poco compatta. Costatare che i valori di resistenza a compressione sono bassi, o anormalmente bassi (per un dato materiale), o anche solo saperlo, senza vedere il campione, indica già che il materiale ha scarsa compattezza o un basso stato di "freschezza". E questo, nella stragrande maggioranza dei casi, significa che **anche altre** resistenze meccaniche risulteranno verosimilmente scadenti, come la flessione, la tenacità (resistenza all'urto), la resistenza all'ancoraggio (di cui si parlerà nei prossimi numeri della rivista), ed altre ancora. Esiste quasi sempre una certa correlazione tra i valori di porosità (aperta e totale) e massa volumica e la resistenza a compressione: elevati valori di porosità e bassi valori di massa volumica determinano sempre una resistenza a compressione dai valori contenuti, se non bassi. Preme sottolineare, a questo riguardo, che, anche laddove la pietra naturale esibisce valori definiti "contenuti" o "bassi", questi sono altamente sufficienti per gli impieghi ordinari nel settore edile e costruttivo. In linea del tutto generale, infatti, la pietra naturale vanta valori che sono notoriamente elevati, anche in raffronto a molti altri materiali da costruzione. Prova ne siano non solo la storia delle costruzioni su tutto il pianeta, che ha visto l'impiego di una gamma pressoché infinita di materiali lapidei, ma anche un comportamento in esercizio quasi sempre caratterizzato da elevati livelli di sicurezza e di durevolezza.

Ciò detto, vediamo quali sono le situazioni nelle quali una pietra si trova a lavorare "a compressione". I casi più significativi sono i già citati impieghi con funzione portante, certamente ridimensionati rispetto al passato, ma pur

sempre esistenti. Esempi classici sono rappresentati da colonne, pilastri (Figura 4), elementi architettonici con ruolo strutturale, ma anche da muri ordinari realizzati in conci di pietra (Figura 5), dove quest'ultima sostiene integralmente il peso della struttura.



Fig. 4. un caso classico di sollecitazione a compressione: pilastri in granito (*Grigio Perla*) che sostengono la struttura soprastante (Luras, Sardegna)



Fig. 5. Un muro a secco in conci di calcare di dimensioni medio-piccole, e scarsissimo impiego di malta interstiziale. Arzo (Svizzera)

Nelle situazioni quotidiane la pietra si trova a sostenere carichi in molti frangenti: i mobili, gli arredi e gli oggetti che gravano sulle piastrelle di pavimenti residenziali, il peso dei mezzi di trasporto su pavimentazioni esterne

in pietra (ma anche nel proprio garage), le infrastrutture permanenti poggiate sui pavimenti di ambienti, siano essi esterni urbani, o commerciali/industriali (banche, supermercati, stazioni, uffici ecc.), la neve sui tetti, il nostro peso sulle pedate di gradini appoggiati, e via dicendo.

Per ognuna delle possibili situazioni, è importante accertare anche il carattere del carico agente sulla pietra: statico, dinamico, transitorio, permanente, accidentale ecc., ai fini di una selezione appropriata della pietra da consigliare e/o impiegare. Nel carico statico la sollecitazione avviene ad opera di un grave non in movimento; il carico dinamico prevede invece che la sollecitazione avvenga in combinazione al movimento. Un carico transitorio viene esercitato per un tempo più o meno protratto, ma si tratta sempre di una sollecitazione limitata nel tempo. I carichi permanenti, come dice il termine stesso, sono da considerare tali durante tutto l'esercizio della pietra; i carichi accidentali, invece, sono quelli che possono verificarsi occasionalmente, ma in ogni caso da prevedere in sede di progetto.

Esempi concreti di quanto poc'anzi detto sono le strutture, i mobili, gli arredi e gli oggetti posizionati sopra una pavimentazione (sia esterna che interna), sulla quale esercitano un carico di tipo statico (e permanente) (Figura 6).



Fig. 6. Panchina curvilinea in travertino massivo su pavimentazione esterna. Cetona (SI)

La neve sui tetti è un carico statico (crescente e decrescente), ma transitorio (Figura 7). Il peso di una struttura edilizia (o sua parte) gravante su una colonna (o pilastro) costituisce un altro esempio di carico statico permanente.



Fig. 7. Un carico nevoso eccezionale su un tetto in "lose" rappresenta un esempio di carico statico, transitorio. Valle Antrona (Piemonte)

Il peso di un veicolo sugli elementi in pietra di una pavimentazione esercita un carico dinamico transitorio (mezzo in transito), ma anche statico (mezzo parcheggiato). I gradini di una scala - infine - appoggiati su base in calcestruzzo, ricevono normalmente carichi dinamici e transitori.

E' appena il caso di ricordare che, in situazioni di pioggia, e conseguente assorbimento d'acqua da parte della pietra, è opportuno tenere in debita considerazione il suo incremento di peso, il quale, certamente trascurabile in molti casi, potrebbe non esserlo in altri. Tutti i casi di incremento di peso da acqua assorbita configurano situazioni di carico statico transitorio, che potrebbe tuttavia diventare accidentale in quelle zone dove gli eventi piovosi sono rarissimi.

Vi è poi un caso particolare, degno di nota per la sua frequenza, soprattutto nelle realizzazioni in pietra del passato. In molti rivestimenti parietali esterni di tipo tradizionale (con posa a malta cementizia), ma anche in numerose pavimentazioni esterne, le lastre, disposte **a giunto chiuso**, creano un corpo unico con la sottostante struttura muraria. In queste situazioni, con importanti variazioni di temperatura, la differenza tra i **coefficienti di dilatazione** della pietra e del suo supporto (cemento, o calcestruzzo, o muratura *sensu lato*), unita all'assenza del giunto, impedisce sia alle lastre, sia alla struttura muraria, di assecondare liberamente le proprie variazioni dimensionali in funzione delle variazioni di temperatura. La dilatazione delle lastre, da un lato, porta le stesse a premere le une contro le altre, **"lavorando" cioè in compressione**; dall'altro, a ridurre progressivamente l'aderenza al substrato a causa della differente dilatazione del supporto rispetto alla pietra. Il risultato finale è una lesione delle lastre, costrette a "lavorare" a compressione **per variazioni termiche**. In applicazioni verticali, l'evoluzione dei fenomeni porta poi al trasferimento del peso del rivestimento sui corsi sottostanti di lastre, con frequenti rotture sui bordi (**Figura 8**), distacchi e cadute delle lastre stesse, favoriti anche dalla perdita di aderenza alla malta a tergo, a causa proprio delle differenti dilatazioni termiche tra supporto e pietra.



Fig. 8. Dettaglio di un prospetto verticale esterno, rivestito in marmo bianco cristallino, posato a malta cementizia. La parentesi graffa indica una fascia dove si concentrano numerose "sbeccature" alla base di una lastra. Vedi testo.

Edificio privato, Massa

Sapendo in anticipo che questa potrebbe essere la modalità di installazione (peraltro ancor oggi adottata) della pietra, non sarà inutile valutare la sua resistenza a compressione anche laddove ciò poteva non essere previsto.

Quali sono i fattori che influenzano questo importante parametro meccanico? Tra i numerosissimi, intrinseci al materiale (geologici, mineralogici, petrografici e strutturali) ed estrinseci, la cui descrizione non può trovare spazio in questa breve nota, è doveroso menzionarne almeno uno, intrinseco al materiale lapideo: l'anisotropia planare, più spesso definita *"verso"*. Come è noto, numerosi lapidei mostrano una "direzionalità", un'orientazione preferenziale, lungo la quale possono essere suddivisi con maggior facilità e lungo la quale si registrano normalmente i minori valori delle resistenze meccaniche, ivi compresa quella a compressione. A questa direzione si dà il nome di *"verso"* (o *"falda"*, *"vena"*, *"pioda"* ecc.).

Tutte le volte che abbiamo a che fare con materiali con anisotropia (anche non necessariamente evidente da un punto di vista macroscopico), o orientati, o stratificati o, in ogni caso, con un *"verso"* ben apprezzabile, è necessario testare i provini tenendo conto dell'orientazione (Figure 9 - 10) poiché i valori che si registrano secondo dire-

zioni di sollecitazione normale, o parallela, al “verso”, sono usualmente molto differenti: massimi nel primo caso, minimi nel secondo.

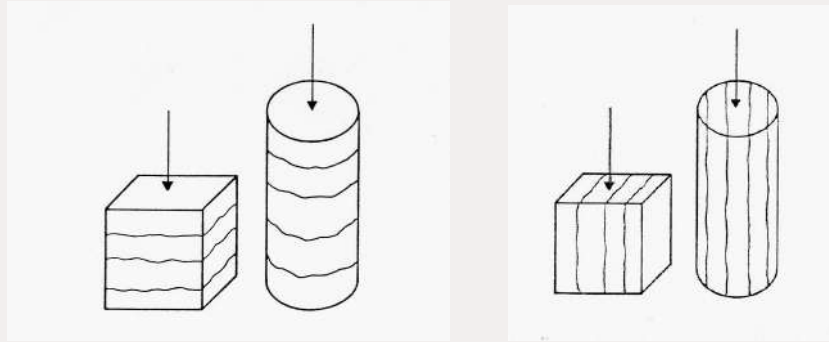


Figure 9-10: rappresentazione schematica di un test di resistenza a compressione realizzato con sollecitazione normale al “verso” del materiale (sin.) e con sollecitazione parallela (dx.)

È importante sottolineare questo aspetto poiché spesso, anche per espresso desiderio di architetti, designers e progettisti, un materiale viene tagliato secondo le direzioni che meglio valorizzano l'ornamentazione e il suo disegno, le quali non necessariamente coincidono con le direzioni che offrono i migliori valori di resistenza (e questo non solo alla compressione).

Per l'esecuzione del test in laboratorio è pertanto necessario specificare l'orientazione del “verso” rispetto alle direzioni di sollecitazione sul provino in maniera da interpretare correttamente il dato risultante.

2. LA PROVA DI LABORATORIO

In termini pratici, questo è ciò che si realizza in laboratorio:

PRINCIPIO DEL TEST: il provino viene collocato sulla piastra della macchina impiegata per il saggio - una pressa - senza alcun confinamento laterale (Figura 11).



Fig. 11. Posizionamento del provino all'interno della macchina per realizzare il test di resistenza a compressione

DIMENSIONI DEI CAMPIONI: i campioni da utilizzare possono essere in forma di **cu**bo con spigolo mm (70 ± 5) o mm (50 ± 5), oppure in forma di **cilind**ro circolare aventi diametro ed altezza eguali [(70 ± 5) mm oppure (50 ± 5) mm].

PROCEDURA DEL TEST: si applica un carico uniformemente distribuito, incrementandolo in forma continua ($1 \pm 0,5$ MPa/s) fino a quando non sopraggiunge la rottura (**Figure 12-13**).

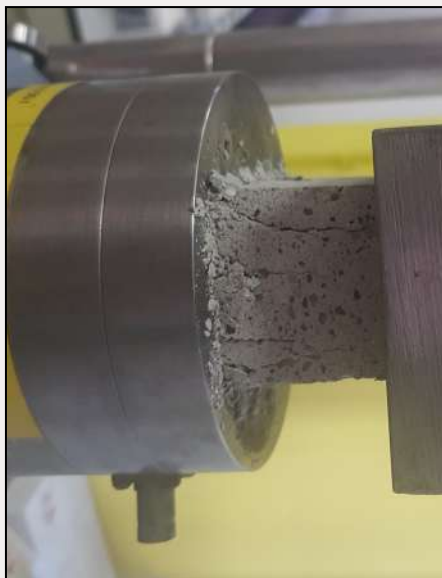


Fig. 12. Evidenze di rottura del provino durante il test



Fig. 13. Un provino a test effettuato e rottura avvenuta

Con questa dinamica di esecuzione del test si parla di prova a compressione uniassiale, poiché tale è l'azione della pressa schiacciante; nelle pratiche ingegneristiche possono essere tuttavia realizzati anche altri tipi di test a compressione, qui non descritti.

RISULTATO DEL TEST: la resistenza a compressione uniassiale di ogni provino viene definita come il rapporto tra il carico in corrispondenza del quale si è avuta la rottura e l'area della sezione trasversale esistente prima della rottura.

Il risultato viene espresso in MPa (MegaPascal) dalla formula:

$$RC \text{ (Resistenza a compressione)} = \frac{F}{A}$$

dove: **F** = carico di rottura (in Newton)
A = area della sezione trasversale del provino (in mm²)

Maggiore è il valore ottenuto, maggiore è la capacità di resistenza del materiale a questo tipo di sollecitazione.

I risultati sono condizionati oltre che dalla velocità di applicazione del carico, dalla forma e dalla dimensione dei provini, stabilite da normativa, dalla loro rugosità e regolarità nel confezionamento. In altri termini, per una corretta esecuzione della prova di resistenza a compressione semplice, le forze agenti devono essere uniformemente distribuite su facce uguali e opposte del provino e la loro risultante deve passare per il baricentro. Per questo motivo infatti la norma raccomanda di testare provini confezionati con facce piane (con una tolleranza di 0.1mm/100mm) e pian parallele (con una tolleranza di 1mm/100mm).

Anche la presenza di acqua all'interno della pietra condiziona i risultati ottenuti. E' prevista infatti per i materiali lapidei destinati a opere di protezione idraulica l'esecuzione della prova in condizioni sature.

In Tabella 1 sono riportati, a titolo esemplificativo, i carichi medi di rottura di alcune famiglie di rocce:

Tab. 1. Carichi medi di rottura a compressione per alcune famiglie di rocce. Stante l'enorme variabilità dei materiali lapidei, gli intervalli sono da ritenersi puramente indicativi: tra di essi può infatti esservi sovrapposizione, così come un determinato materiale "sconfinare" in un altro intervallo.

valori indicativi: bassa ≤ 50 ; media $> 50 \leq 100$; buona $> 100 \leq 150$; elevata ≥ 150

FAMIGLIE di ROCCE	ESEMPI COMMERCIALI	Resistenza a compressione (MPa)
basalti	<i>Basalto dell'Etna; Basalto Sardo</i>	150 ÷ 300
porfidi, quarziti	<i>Porfido trentino; Porfido messicano; Quarzite Alta</i>	100 ÷ 250
gabbri; noriti; serpentiniti; calcari molto compatti	<i>Serpentino Valmalenco; Nero Macara Uruguay; Marmo di Orosei</i>	100 ÷ 200
graniti, sieniti, dioriti	<i>Blanco Berrocal; Gris Mondariz; Sienite della Balma</i>	80 ÷ 200
calcari compatti	<i>Rojo Alicante; Rosa Duquesa; Bronzetto</i>	80 ÷ 200
marmi cristallini	<i>Giallo Macael; Pentelicon; Bianco Sivec; Karibib</i>	70 ÷ 150
arenarie; molte rocce vulcaniche "teneri"	<i>Pietra Dorata; Pietra di Bedonia; Trachiti sarde (la maggioranza); Giallo Campidano;</i>	50 ÷ 120
conglomerati, brecce	<i>Marron Emperador; Rosso Levante</i>	40 ÷ 100
travertini	<i>Striatino; Paglierino;</i>	40 ÷ 75
calcari "teneri"	<i>Moca Creme; Capri</i>	10 ÷ 25
tufi, tufiti	<i>Tufo campano</i>	3 ÷ 20

La Tabella 1 visualizza quanto detto in precedenza: i valori tendono a diminuire a mano a mano che la porosità aumenta (e la compattezza diminuisce). Nella stragrande maggioranza dei casi, infatti, tufi, travertini, calcari "teneri", arenarie ecc. mostrano valori di porosità e di massa volumica rispettivamente superiori ed inferiori a basalti, quarziti, graniti, marmi cristallini ecc.

Come nota finale di questa breve disamina, due suggerimenti pratici per il lettore:

1. Primo numero nella depliantistica commerciale e nelle schede tecniche di qualificazione di un materiale lapideo, si suggerisce di trascurare tutte le analisi che recano scritte del tipo: resistenza a compressione "elevata", "alta", "forte", "resiste a ogni tipo di sollecitazione" ecc. Si tratta di dizioni che non hanno significato alcuno e che non forniscono informazioni utili ai fini della valutazione del materiale.
2. Può capitare di reperire in letteratura risultati di resistenza a compressione espressi in kg/cm^2 anziché in MPa. Si tratta di tests eseguiti secondo la vecchia normativa nazionale, la quale prevedeva l'espressione del risultato - appunto - in kg/cm^2 anziché in MPa. Oggi tali risultati sono da considerarsi obsoleti, ma, laddove se ne voglia fare uso, si ricordi che per passare da una misura in kg/cm^2 ad una in MPa, occorre moltiplicare per 0,0981.

Bibliografia

EN 1926, 2006. Metodi di prova per pietre naturali - Determinazione della resistenza a compressione uniassiale - CEN Bruxelles