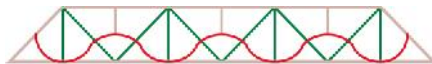


“ LA DIAGNOSTICA NON DISTRUTTIVA PER LA VERIFICA STRUTTURALE DELLE COSTRUZIONI E LA CONOSCENZA DEL DEGRADO DEI MATERIALI: LEGGI E NORMATIVE “

**ORDINE DEGLI ARCHITETTI, P.P.C.
DELLA PROVINCIA DI BARI**

**ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI BARI**

12 aprile 2013

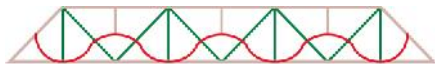


Arch. COSIMO PALMIERI
email:diagnosticastrutturale@gmail.com
www.archpalmieri.it

PREMESSA

Con l'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008, il professionista delle strutture ha ricevuto nuove indicazioni circa le procedure standard basate sulle metodologie sperimentali innovative per il controllo delle fasi costruttive e della verifica della affidabilità in esercizio delle strutture.

Le metodologie riportate nelle NTC08, fanno riferimento ai temi della verifica sul patrimonio edilizio esistente e sulle nuove costruzioni. I temi riguardano la conoscenza delle caratteristiche dei materiali in maniera più razionale rispetto al passato e soprattutto il controllo di essi e dell'intera struttura tramite il monitoraggio strutturale. I metodi di osservazione per il controllo e il monitoraggio sia in fase costruttiva che in fase di esercizio, potranno essere riportati nel piano di manutenzione redatto in fase di progettazione.



La diagnostica non distruttiva rappresenta un campo di indagine volta a stabilire se un edificio esistente o in costruzione è in grado di resistere alle combinazioni di progetto contenute nelle norme.

A cosa serve:

- a conoscere la “ condizione di stato ” dei materiali prima delle fasi progettuali;
- a conoscere la “ condizione di stato ” dell’edificio esistente dalla sua vetustà;
- a conoscere la “ condizione di stato ” della posa dei materiali dell’edificio esistente;
- a conoscere la “ condizione di stato ” dei materiali e della loro posa in fase di nuova costruzione;
- a conoscere la “ condizione di stato ” degli spostamenti, dei cedimenti e delle vibrazioni delle strutture;
- a conoscere la “ condizione di stato ” causati da cedimenti fondali;
- a conoscere la “ condizione di stato ” del degrado causato da incendio.



LEGGI:

- D.P.R. del 6 giugno 2001 N. 380
- ORDINANZA PCM 3274 del 20 marzo 2003
- ORDINANZA PCM 3431 del 03 maggio 2005
- NUOVE NORMA TECNICHE PER LE COSTRUZIONI D.M. 14-01-2008
- CIRCOLARE APPLICATIVA n. 617 DEL 02-02-2009
- DIRETTIVA DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI 9 febbraio 2011
Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti del 14 gennaio 2008.

- Capitoli del D.M. 14- 01- 2008:

2 - SICUREZZA E PRESTAZIONI ATTESE

4 - COSTRUZIONI CIVILI ED INDUSTRIALI

8 - COSTRUZIONI ESISTENTI

9 - COLLAUDO STATICO

10 - REDAZIONE DEI PROGETTI STRUTTURALI ESECUTIVI E DELLE RELAZIONI DI CALCOLO

11 - MATERIALI E PRODOTTI PER USO STRUTTURALE

- Capitoli della Circolare n. 617 del 02-02-2009:

C12 – RIFERIMENTI TECNICI

- CA - ALLEGATO A: PERICOLOSITA' SISMICA

- NORME UNI PER LA DIAGNOSTICA



NORMATIVE DELLE STRUMENTAZIONI

- **QUALIFICAZIONE E CERTIFICAZIONE DEL PERSONALE ADDETTO ALLE PROVE NON DISTRUTTIVE :**

Normativa UNI EN ISO 9712:2012

- **INDAGINE SCLEROMETRICA (SC) :**
- **INDAGINE ULTRASONICA (UT) :**
- **INDAGINE SONICA (SO) :**
- **INDAGINE MAGNETOMETRICA:**
- **PROVE SUL CALCESTRUZZO NELLE STRUTTURE - CAROTE - PRELIEVO, ESAME E PROVA DI COMPRESSIONE:**
- **PROVE SUL CALCESTRUZZO INDURITO – RESISTENZA ALLA COMPRESSIONE DEI PROVINI:**
- **PROFONDITA' DELLA CARBONATAZIONE MEDIANTE LA PROVA ALLA FENOLFTALEINA:**
- **PROCESSI CORROSIVI DEL FERRO DI ARMATURA:**
- **PULL – OUT:**
- **PULL – OFF:**
- **SONDA DI WINDSOR:**
- **MARTINETTI PIATTI (Singolo o Doppio):**
- **TERMOGRAFIA ALL'INFRAROSSO:**
- **TERMOFLUSSIMETRIA:**
- **BLOWER DOOR TEST:**

Normativa UNI EN 12504-2:2012

Normativa UNI EN 12504-4:2005

Normativa UNI 10627-1997

Normativa BS 1881 – 204; DIN 1045; CP 110

Normativa UNI EN 12504-1:2009

Normativa UNI EN 12390-3:2003

Normativa UNI 9994:1992

Normativa UNI 9535:1989

Normativa UNI EN 12504-3 :2005

Normativa UNI-EN 1542:2000

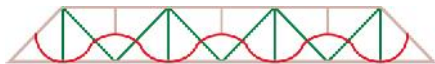
Normativa ASTM C 803

Normativa ASTM C1196-09 - ASTM C1197-09

Normativa UNI 10824-1:2000

Normativa ISO 9863/04

Normativa UNI EN ISO 13829



LEGGI E NORME NECESSARIE PER “FAR” ESEGUIRE LE INDAGINI DIAGNOSTICHE:

Capitoli del D.M. 14 - 01- 2008

e

Capitoli della Circolare n. 617 del 02 - 02 - 2009

2

SICUREZZA E PRESTAZIONI ATTESE

2.1

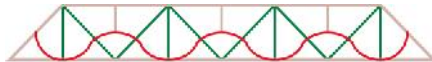
Principi fondamentali

Le opere e le componenti strutturali devono essere progettate, eseguite, collaudate e soggette a manutenzione in modo tale da consentirne la prevista utilizzazione, in forma economicamente sostenibile e con il livello di sicurezza previsto dalle presenti norme.

.....

La durabilità, definita come conservazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali e delle strutture, proprietà essenziale affinché i livelli di sicurezza vengano mantenuti durante tutta la vita dell'opera, deve essere garantita con un'opportuna scelta dei materiali e un opportuno dimensionamento delle strutture, comprese le eventuali misure di protezione e manutenzione.

I materiali ed i prodotti, per poter essere utilizzati nelle opere previste dalle presenti norme, devono essere sottoposti a procedure e prove sperimentali di accettazione. Le prove e le procedure di accettazione sono definite nelle parti specifiche delle presenti norme riguardanti i materiali.



C4 COSTRUZIONI CIVILE ED INDUSTRIALI

Nel Capitolo 4 le NTC definiscono, per i diversi materiali considerati, le caratteristiche loro richieste, i relativi metodi di analisi, le verifiche, sia locali che globali, che occorre effettuare per accertare il rispetto dei diversi stati limite fissati dalla norma, le indicazioni sui particolari costruttivi e sulle modalità esecutive, le specifiche relative alla resistenza al fuoco ed ai carichi eccezionali.

- nel paragrafo 4.1 sono trattate le costruzioni di c.a. e c.a.p., gettate in opera o prefabbricate, e vengono fornite le indicazioni specifiche per i calcestruzzi a bassa percentuale di armatura o non armati e per i calcestruzzi di aggregato leggero;
-
- nel paragrafo 4.4 sono trattate, per la prima volta nella normativa tecnica italiana, le costruzioni di legno;
- nel paragrafo 4.5 sono trattate le costruzioni di muratura; .
-

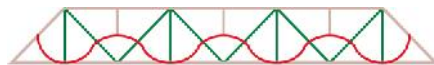
4.1 Costruzioni di calcestruzzo

Formano oggetto delle presenti norme le strutture di:

- calcestruzzo armato normale (cemento armato);
- calcestruzzo armato precompresso (cemento armato precompresso);
- calcestruzzo a bassa percentuale di armatura o non armato;

.....

Ai fini della valutazione del comportamento e della resistenza delle strutture in calcestruzzo, questo viene titolato ed identificato attraverso la classe di resistenza contraddistinta dai valori caratteristici delle resistenze cilindrica e cubica a compressione uniassiale, misurate rispettivamente su provini cilindrici (o prismatici) e cubici, espressa in MPa (paragrafo 11.2). (verifica con metodo sonreb: sclerometro + ultrasuoni)



Arch. COSIMO PALMIERI
email:diagnosticastrutturale@gmail.com
www.archpalmieri.it



(Sclerometro)



(Ultrasuoni)

4.4 Costruzioni di legno

Formano oggetto delle presenti norme le opere costituite da strutture portanti realizzate con elementi di legno strutturale (legno massiccio, segato, squadrato oppure tondo) o con prodotti strutturali a base di legno (legno lamellare incollato, pannelli a base di legno) assemblati con adesivi oppure con mezzi di unione meccanici, eccettuate quelle oggetto di una regolamentazione apposita a carattere particolare.

La presente norma può essere usata anche per le verifiche di strutture in legno esistenti purché si provveda ad una corretta valutazione delle caratteristiche del legno e, in particolare, degli eventuali stati di degrado.

I materiali e i prodotti devono rispondere ai requisiti indicati nel paragrafo 11.7.

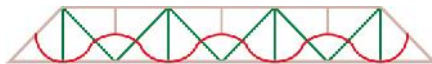
Tutto il legno per impieghi strutturali deve essere classificato secondo la resistenza, prima della sua messa in opera.



(verifica con sclerometro per legno e penetrometro)



(verifica con metodo ultrasonico)



4.5 Costruzioni di Muratura

4.5.2.3 Murature

Le murature costituite dall'assemblaggio organizzato ed efficace di elementi e malta possono essere a singolo paramento, se la parete è senza cavità o giunti verticali continui nel suo piano, o a paramento doppio.

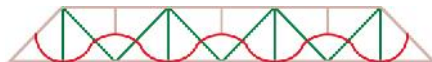
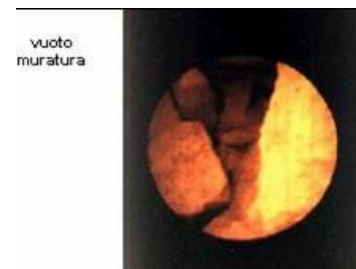
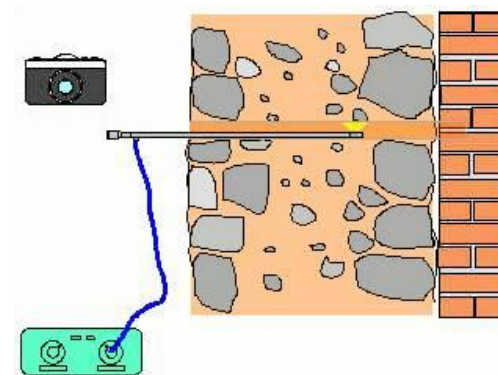
(verifica con endoscopia e sonica)



Muratura di pietra squadrata



Muratura di pietra non squadrata



4.5.3

Caratteristiche meccaniche delle murature

Le proprietà fondamentali in base alle quali si classifica una muratura sono la resistenza caratteristica a compressione f_k la resistenza caratteristica a taglio in assenza di azione assiale f_{vk0} , il modulo di elasticità normale secante E , il modulo di elasticità tangenziale secante G .

La resistenze caratteristiche f_k e f_{vk0} sono determinate o per via sperimentale su campioni di muro o, con alcune limitazioni, in funzione delle proprietà dei componenti.



(verifica con martinetto singolo)

Tensione media di esercizio
 $= p \times K_m \times K_a$



(verifica con martinetto doppio)

Tensione media di deformazione
 $= p \times (A_m/A_t) \times K_m$

Modulo elasticità della muratura
 $E = \frac{p}{\epsilon}$

Le modalità per determinare le resistenze caratteristiche sono indicate nel paragrafo 11.10.5, dove sono anche riportate le modalità per la valutazione dei moduli di elasticità.

In ogni caso i valori delle caratteristiche meccaniche utilizzate per le verifiche devono essere indicati nel progetto delle opere.

In tutti i casi, quando è richiesto un valore di f_k maggiore o uguale a 8 MPa si deve controllare il valore di f_k , mediante prove sperimentali come indicato nel paragrafo 11.10.



8 COSTRUZIONI ESISTENTI

8.1 Oggetto

Il presente capitolo definisce i criteri generali per la valutazione della sicurezza e per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo degli interventi sulle costruzioni esistenti.

È definita costruzione esistente quella che abbia, alla data della redazione della valutazione di sicurezza e/o del progetto di intervento, la struttura completamente realizzata.

8.2 Criteri generali

.....
La valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi su costruzioni esistenti devono tenere conto dei seguenti aspetti:

- *la costruzione riflette lo stato delle conoscenze al tempo della sua realizzazione;*
- *possono essere insiti e non palesi difetti di impostazione e di realizzazione;*
- *la costruzione può essere stata soggetta ad azioni, anche eccezionali, i cui effetti non siano completamente manifesti;*
- *le strutture possono presentare degrado e/o modificazioni significative rispetto alla situazione originaria.*

Nella definizione dei modelli strutturali, si dovrà, inoltre, tenere conto che:

- *la geometria e i dettagli costruttivi sono definiti e la loro conoscenza dipende solo dalla documentazione disponibile;*
- *la conoscenza delle proprietà meccaniche dei materiali non risente delle incertezze legate alla produzione e posa in opera ma solo della omogeneità dei materiali stessi all'interno della costruzione;*
- *i carichi permanenti sono definiti e la loro conoscenza dipende dal livello di approfondimento delle indagini conoscitive.*

(indagine diagnostica con le diverse strumentazioni)



Si dovrà prevedere l'impiego di metodi di analisi e di verifica dipendenti dalla completezza e dall'affidabilità dell'informazione disponibile e l'uso, nelle verifiche di sicurezza, di adeguati "fattori di confidenza", che modificano i parametri di capacità in funzione del livello di conoscenza relativo a geometria, dettagli costruttivi e materiali.

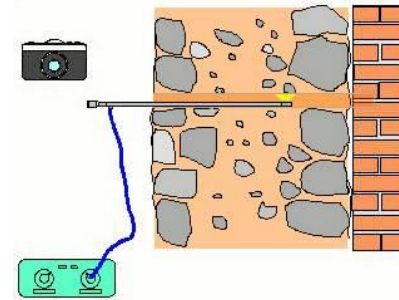
la loro conoscenza dipende dal livello di approfondimento delle indagini conoscitive, tramite la diagnostica non distruttiva (verifica con termocamera, sonica, ultrasonica, endoscopia, sclerometro, martinetto piatto singolo e/o doppio, deformometro, pull-out, processi corrosivi del ferro) .



(termocamera)



(sonica e ultrasonica)



(endoscopia)



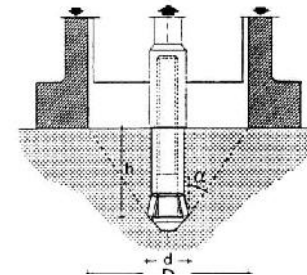
(sclerometro)



(martinetti piatti doppi)



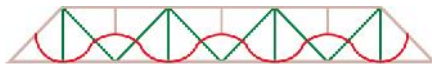
(deformometro)



(pull-out)



(processi corrosivi)



8.4.1

Intervento di adeguamento

È fatto obbligo di procedere alla valutazione della sicurezza e, qualora necessario, all'adeguamento della costruzione, a chiunque intenda:

- a) **sopraelevare la costruzione;**
- b) **ampliare la costruzione mediante opere strutturalmente connesse alla costruzione;**
- c) **apportare variazioni di classe e/o di destinazione d'uso che comportino incrementi dei carichi globali in fondazione superiori al 10%; resta comunque fermo l'obbligo di procedere alla verifica locale delle singole parti e/o elementi della struttura, anche se interessano porzioni limitate della costruzione;**
- d) **effettuare interventi strutturali volti a trasformare la costruzione mediante un insieme sistematico di opere che portino ad un organismo edilizio diverso dal precedente.**

In ogni caso, il progetto dovrà essere riferito all'intera costruzione e dovrà riportare le verifiche dell'intera struttura post-intervento, secondo le indicazioni del presente capitolo. (**indagine diagnostica con le diverse strumentazioni**)

8.4.2

Intervento di miglioramento

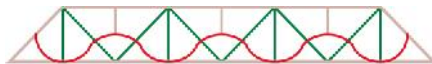
Rientrano negli interventi di miglioramento tutti gli interventi che siano comunque finalizzati ad accrescere la capacità di resistenza delle strutture esistenti alle azioni considerate (**verifica indagine diagnostica con martinetti piatti, sclerometro, pacometro, endoscopia,....**).

8.4.3

Riparazione o intervento locale

In generale, gli interventi di questo tipo riguarderanno **singole parti e/o elementi della struttura che interesseranno porzioni limitate della costruzione**. Il progetto e la valutazione della sicurezza potranno essere riferiti alle sole parti e/o elementi interessati e documentare che, rispetto alla configurazione precedente al danno, al degrado o alla variante, non siano prodotte sostanziali modifiche al comportamento delle altre parti e della struttura nel suo insieme e che gli interventi comportino un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti. (**indagine diagnostica con le diverse strumentazioni**)

.....



8.5

Procedure per la valutazione della sicurezza e la redazione dei progetti

Nelle costruzioni esistenti le situazioni concretamente riscontrabili sono le più diverse ed è quindi impossibile prevedere regole specifiche per tutti i casi. **Di conseguenza, il modello per la valutazione della sicurezza dovrà essere definito e giustificato dal progettista (tramite indagine diagnostica con le diverse strumentazioni)**, caso per caso, in relazione al comportamento strutturale attendibile della costruzione, tenendo conto delle indicazioni generali di seguito esposte.

8.5.1

Analisi storico - critica

Generalmente, quando si trattano costruzioni esistenti, può essere difficile disporre dei disegni originali di progetto necessari a ricostruirne la storia progettuale e costruttiva. Per le costruzioni, e in particolare per gli edifici a valenza culturale, storico-architettonica, è talvolta possibile, attraverso una ricerca archivistica, raccogliere una documentazione sufficientemente completa sulla loro storia edificatoria per ricostruire ed interpretare le diverse fasi edilizie. **(indagine diagnostica con le diverse strumentazioni)**

8.5.2

Rilievo

Il rilievo geometrico-strutturale dovrà essere riferito sia alla geometria complessiva dell'organismo che a quella degli elementi costruttivi, comprendendo i rapporti con le eventuali strutture in aderenza. **Nel rilievo dovranno essere rappresentate le modificazioni intervenute nel tempo, come desunte dall'analisi storico-critica. (indagine diagnostica per mezzo della termocamera)**

Il rilievo deve individuare l'organismo resistente della costruzione, tenendo anche presente la qualità e lo stato di conservazione dei materiali e degli elementi costitutivi. (indagine diagnostica con le diverse strumentazioni)

Dovranno altresì essere rilevati i dissesti, in atto o stabilizzati, ponendo particolare attenzione all'individuazione dei quadri fessurativi e dei meccanismi di danno. (indagine diagnostica con deformometro e fessurimetro)



8.5.3

Caratterizzazione meccanica dei materiali

Per conseguire un'adeguata conoscenza delle caratteristiche dei materiali e del loro degrado, ci si baserà su documentazione già disponibile, su verifiche visive in sito e su indagini sperimentali. Le indagini dovranno essere motivate, per tipo e quantità, dal loro effettivo uso nelle verifiche; nel caso di beni culturali e nel recupero di centri storici, si dovrà considerare l'impatto in termini di conservazione del bene. I valori delle resistenze meccaniche dei materiali vengono valutati sulla base delle prove effettuate sulla struttura e prescindono dalle classi discretizzate previste nelle norme per le nuove costruzioni. (indagine diagnostica con le diverse strumentazioni)

8.5.4

Livelli di conoscenza e fattori di confidenza

Sulla base degli approfondimenti effettuati nelle fasi conoscitive sopra riportate, saranno individuati i "livelli di conoscenza" dei diversi parametri coinvolti nel modello (geometria, dettagli costruttivi e materiali), e definiti i correlati fattori di confidenza, da utilizzare come ulteriori coefficienti parziali di sicurezza che tengono conto delle carenze nella conoscenza dei parametri del modello. (indagine diagnostica con le diverse strumentazioni)

8.7.1

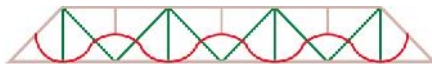
Costruzioni in muratura

Nelle costruzioni esistenti in muratura soggette ad azioni sismiche, particolarmente negli edifici, si possono manifestare meccanismi locali e meccanismi d'insieme. I meccanismi locali interessano singoli pannelli murari o più ampie porzioni della costruzione, e sono favoriti dall'assenza o scarsa efficacia dei collegamenti tra pareti e orizzontamenti e negli incroci murari. (indagine diagnostica per mezzo della termocamera, endoscopia, sonica)

I meccanismi globali sono quelli che interessano l'intera costruzione e impegnano i pannelli murari prevalentemente nel loro piano. (indagine diagnostica con le diverse strumentazioni)

La sicurezza della costruzione deve essere valutata nei confronti di entrambi i tipi di meccanismo.

.....



C8.7.1.9

Modelli di capacità per il rinforzo di edifici in muratura

I modelli utilizzati per gli elementi rinforzati dovranno essere giustificati dal progettista. I fattori di confidenza utilizzati dovranno corrispondere ai livelli di conoscenza descritti nel presente capitolo.

In particolare, valutazioni effettuate sulla sola base di dati di letteratura, senza ricorrere a verifiche sperimentali, comporterà l'utilizzo di fattori di confidenza corrispondenti ad un livello di conoscenza LC1.

Mentre, per gli altri livelli di conoscenza LC2 e LC3 è d'obbligo eseguire le verifiche sperimentali tramite indagini di diagnostica.

C8A

Appendice al Capitolo C8

C8A.1

Stima dei livelli di conoscenza e dei fattori di confidenza

C 8A.1.A

Costruzioni in muratura: dati necessari e identificazione del livello di conoscenza

La conoscenza della costruzione in muratura oggetto della verifica è di fondamentale importanza ai fini di una adeguata analisi, e può essere conseguita con diversi livelli di approfondimento, in funzione dell'accuratezza delle operazioni di rilievo, dell'analisi storica e delle indagini sperimentali. Tali operazioni saranno funzione degli obiettivi preposti ed andranno ad interessare tutto o in parte la costruzione, a seconda della ampiezza e della rilevanza dell'intervento previsto.

C 8A.1.A.1

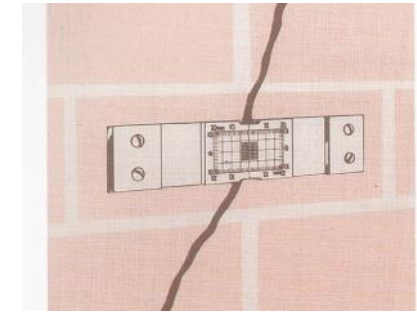
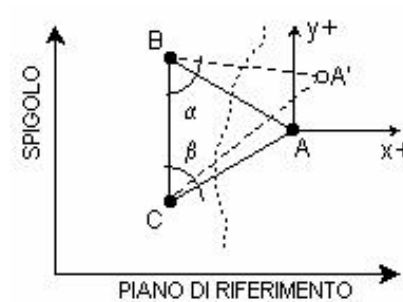
Costruzioni in muratura: geometria

La conoscenza della geometria strutturale di edifici esistenti in muratura deriva di regola dalle operazioni di rilievo.

Viene inoltre rilevato e rappresentato l'eventuale quadro fessurativo, classificando possibilmente ciascuna lesione secondo la tipologia del meccanismo associato (distacco, rotazione, scorrimento, spostamenti fuori del piano, ecc.), e deformativo (evidenti fuori piombo, rigonfiamenti, depressioni nelle volte, ecc.). La finalità è di consentire, nella successiva fase diagnostica, l'individuazione dell'origine e delle possibili evoluzioni delle problematiche strutturali dell'edificio.



(indagine diagnostica con: termocamera, deformometro, fessurimetro)

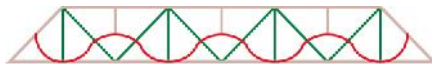


C 8A.1.A.2

Costruzioni in muratura: dettagli costruttivi

I dettagli costruttivi da esaminare sono relativi agli elementi seguenti:

- a) qualità del collegamento tra pareti verticali;
- b) qualità del collegamento tra orizzontamenti e pareti ed eventuale presenza di cordoli di piano o di altri dispositivi di collegamento;
- c) esistenza di architravi strutturalmente efficienti al di sopra delle aperture;
- d) presenza di elementi strutturalmente efficienti atti ad eliminare le spinte eventualmente presenti;
- e) presenza di elementi, anche non strutturali, ad elevata vulnerabilità;
- f) tipologia della muratura (a un paramento, a due o più paramenti, con o senza riempimento a sacco, con o senza collegamenti trasversali, ecc.), e sue caratteristiche costruttive (eseguita in mattoni o in pietra, regolare, irregolare, ecc.). (indagine diagnostica con: termocamera, endoscopia, sonica, martinetti piatti)



Si distinguono:

- **Verifiche in-situ limitate:** sono basate su rilievi di tipo visivo effettuati ricorrendo, generalmente, a rimozione dell'intonaco e saggi nella muratura che consentano di esaminarne le caratteristiche sia in superficie che nello spessore murario, e di ammorsamento tra muri ortogonali e dei solai nelle pareti. I dettagli costruttivi di cui ai punti a) e b) possono essere valutati anche sulla base di una conoscenza appropriata delle tipologie dei solai e della muratura. In assenza di un rilievo diretto, o di dati sufficientemente attendibili, è opportuno assumere, nelle successive fasi di modellazione, analisi e verifiche, le ipotesi più cautelative.
- **Verifiche in-situ estese ed esaustive:** sono basate su rilievi di tipo visivo, effettuati ricorrendo, generalmente, a saggi nella muratura che consentano di esaminarne le caratteristiche sia in superficie che nello spessore murario, e di ammorsamento fra muri ortogonali e dei solai nelle pareti. L'esame degli elementi di cui ai punti da a) ad f) è opportuno sia esteso in modo sistematico all'intero edificio. (**indagine diagnostica con: termocamera, endoscopia, martinetti piatti singoli e/o doppi, sonica, pull-out**)

C 8A.1.A.3

Costruzioni in muratura: proprietà dei materiali

Particolare attenzione è riservata alla valutazione della qualità muraria, con riferimento agli aspetti legati al rispetto o meno della "regola dell'arte".

L'esame della qualità muraria e l'eventuale valutazione sperimentale delle caratteristiche meccaniche hanno come finalità principale quella di stabilire se la muratura in esame è capace di un comportamento strutturale idoneo a sostenere le azioni statiche e dinamiche prevedibili per l'edificio in oggetto, tenuto conto delle categorie di suolo, opportunamente identificate, secondo quanto indicato al paragrafo 3.2.2 delle NTC. (**indagine diagnostica con: doppio martinetto piatto**)

Di particolare importanza risulta la presenza o meno di elementi di collegamento trasversali (es. diatoni), la forma, tipologia e dimensione degli elementi, la tessitura, l'orizzontalità delle giaciture, il regolare sfalsamento dei giunti, la qualità e consistenza della malta.

Di rilievo risulta anche la caratterizzazione di malte (tipo di legante, tipo di aggregato, rapporto legante/aggregato, livello di carbonatazione), e di pietre e/o mattoni (caratteristiche fisiche e meccaniche) mediante prove sperimentali. Malte e pietre sono prelevate in situ, avendo cura di prelevare le malte all'interno (ad almeno 5-6 cm di profondità nello spessore murario). (**indagine diagnostica con: termocamera, endoscopia, pull-out, analisi chimica**)



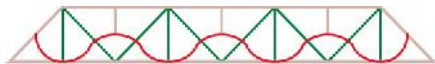
Si distinguono:

— **Indagini in-situ limitate:** servono a completare le informazioni sulle proprietà dei materiali ottenute dalla letteratura, o dalle regole in vigore all'epoca della costruzione, e per individuare la tipologia della muratura (in Tabella C 8A.2.1 sono riportate alcune tipologie più ricorrenti). Sono basate su esami visivi della superficie muraria. Tali esami visivi sono condotti dopo la rimozione di una zona di intonaco di almeno 1m x 1m, al fine di individuare forma e dimensione dei blocchi di cui è costituita, eseguita preferibilmente in corrispondenza degli angoli, per verificare anche le ammorsature tra le pareti murarie. È da valutare, anche in maniera approssimata, la compattezza della malta. Importante è anche valutare la capacità degli elementi murari di assumere un comportamento monolitico in presenza delle azioni, tenendo conto della qualità della connessione interna e trasversale attraverso saggi localizzati, che interessino lo spessore murario.

— **Indagini in-situ estese:** le indagini di cui al punto precedente sono effettuate in maniera estesa e sistematica, con saggi superficiali ed interni per ogni tipo di muratura presente. Prove con martinetto piatto doppio e prove di caratterizzazione della malta (tipo di legante, tipo di aggregato, rapporto legante/aggregato, ecc.), e eventualmente di pietre e/o mattoni (caratteristiche fisiche e meccaniche) consentono di individuare la tipologia della muratura.

È opportuna una prova per ogni tipo di muratura presente. Metodi di prova non distruttivi (prove soniche, prove sclerometriche, penetrometriche per la malta, ecc.) possono essere impiegati a complemento delle prove richieste. Qualora esista una chiara, comprovata corrispondenza tipologica per materiali, pezzatura dei conci, dettagli costruttivi, in sostituzione delle prove sulla costruzione oggetto di studio possono essere utilizzate prove eseguite su altre costruzioni presenti nella stessa zona.

— **Indagini in-situ esaustive:** servono per ottenere informazioni quantitative sulla resistenza del materiale. In aggiunta alle verifiche visive, ai saggi interni ed alle prove di cui ai punti precedenti, si effettua una ulteriore serie di prove sperimentali che, per numero e qualità, siano tali da consentire di valutare le caratteristiche meccaniche della muratura. La misura delle caratteristiche meccaniche della muratura si ottiene mediante esecuzione di prove, in situ o in laboratorio (su elementi non disturbati prelevati dalle strutture dell'edificio). Le prove possono in generale comprendere prove di compressione diagonale su pannelli o prove combinate di compressione verticale e taglio. Metodi di prova non distruttivi possono essere impiegati in combinazione, ma non in completa sostituzione di quelli sopra descritti. Qualora esista una chiara, comprovata corrispondenza tipologica per materiali, pezzatura dei conci, dettagli costruttivi, in sostituzione delle prove sulla costruzione oggetto di studio possono essere utilizzate prove eseguite su altre costruzioni presenti nella stessa zona.

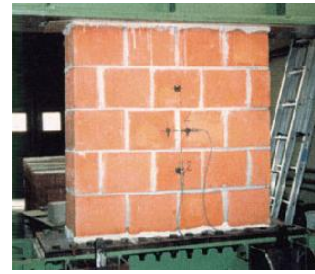




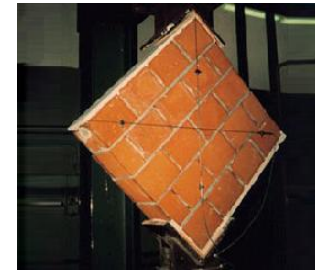
(martinetti piatti)



(sonica)



(compressione)



(taglio)



(sclerometro roccia)

C 8A.1.A.4

Costruzioni in muratura: livelli di conoscenza

Con riferimento al livello di conoscenza acquisito, si possono definire i valori medi dei parametri meccanici ed i fattori di confidenza secondo quanto segue:

- il livello di conoscenza LC3 si intende raggiunto quando siano stati effettuati il rilievo geometrico, verifiche in situ estese ed esaustive sui dettagli costruttivi, indagini in situ esaustive sulle proprietà dei materiali; il corrispondente fattore di confidenza è $FC=1$;
- il livello di conoscenza LC2 s'intende raggiunto, quando siano stati effettuati il rilievo geometrico, verifiche in situ estese ed esaustive sui dettagli costruttivi ed indagini in situ estese sulle proprietà dei materiali; il corrispondente fattore di confidenza è $FC=1.2$;
- il livello di conoscenza LC1 si intende raggiunto quando siano stati effettuati il rilievo geometrico, verifiche in situ limitate sui dettagli costruttivi ed indagini in situ limitate sulle proprietà dei materiali; il corrispondente fattore di confidenza è $FC=1.35$.

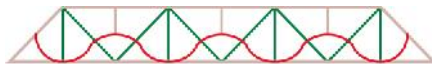
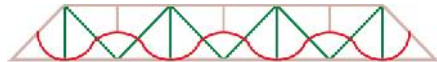


Tabella C 8A.1.1 - Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti valori dei fattori di confidenza per edifici in muratura

Livello di conoscenza	Geometria	Dettagli costruttivi	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1	<p>Rilievo muratura, solai, volte, scale. Individuazione carichi gravanti su ogni elemento di parete Individuazione tipologia fondazioni. Rilievo eventuale quadro fessurativo e deformativo.</p>	Verifiche in situ limitate	<p><u>Indagini in situ limitate Resistenza:</u> valore minimo di Tabella C8A.2.1 <u>Modulo elastico:</u> valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1</p>	Tutti	1.35
LC2		Verifiche in situ estese ed esaustive	<p><u>Indagini in situ estese Resistenza:</u> valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1 <u>Modulo elastico:</u> media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1</p>		1.20
LC3			<p><u>Indagini in situ esaustive</u> -caso a) (disponibili 3 o più valori sperimentali di resistenza) Resistenza: media dei risultati delle prove Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1 -caso b) (disponibili 2 valori sperimentali di resistenza) Resistenza: se valore medio sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8A.2.1, valore medio dell'intervallo di Tabella C8A.2.1; se valore medio sperimentale maggiore di estremo superiore intervallo, quest'ultimo; se valore medio sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore medio sperimentale. Modulo elastico: come LC3 – caso a). -caso c) (disponibile 1 valore sperimentale di resistenza) Resistenza: se valore sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8A.2.1, oppure superiore, valore medio dell'intervallo; se valore sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore sperimentale. Modulo elastico: come LC3 – caso a).</p>		1.00



8.7.2

Costruzioni in cemento armato o in acciaio

C8A.1.B

Costruzioni in calcestruzzo armato o in acciaio: dati necessari per la valutazione

C8A.1.B.1

Costruzioni in calcestruzzo armato e in acciaio: generalità

Le fonti da considerare per la acquisizione dei dati necessari sono:

- documenti di progetto con particolare riferimento a relazioni geotecniche, geologiche e strutturali ed elaborati grafici strutturali;
- eventuale documentazione acquisita in tempi successivi alla costruzione;
- rilievo strutturale geometrico e dei dettagli esecutivi;
- **prove in-situ e in laboratorio.**

C8A.1.B.2

Costruzioni in calcestruzzo armato o in acciaio: dati richiesti

In generale saranno acquisiti dati sugli aspetti seguenti:

- **identificazione dell'organismo strutturale e verifica del rispetto dei criteri di regolarità indicati al paragrafo 7.2.2 delle NTC; quanto sopra viene ottenuto sulla base dei disegni originali di progetto opportunamente verificati con indagini in-situ, oppure con un rilievo ex-novo;**
- identificazione delle strutture di fondazione;
- identificazione delle categorie di suolo secondo quanto indicato al paragrafo 3.2.2 delle NTC;
- **informazione sulle dimensioni geometriche degli elementi strutturali, dei quantitativi delle armature, delle proprietà meccaniche dei materiali, dei collegamenti; (verifica con: pacometro, sclerometro, prova alla fenolftaleina, processi corrosivi, ecc.)**
- informazioni su possibili difetti locali dei materiali;



- informazioni su possibili difetti nei particolari costruttivi (dettagli delle armature, eccentricità travi-pilastro, eccentricità pilastro-pilastro, collegamenti trave-colonna e colonna-fondazione, ecc.);
- informazioni sulle norme impiegate nel progetto originale incluso il valore delle eventuali azioni sismiche di progetto;
- descrizione della classe d'uso, della categoria e dalla vita nominale secondo il paragrafo 2.4 delle NTC;
- rivalutazione dei carichi variabili, in funzione della destinazione d'uso;
- informazione sulla natura e l'entità di eventuali danni subiti in precedenza e sulle riparazioni effettuate.

La quantità e qualità dei dati acquisiti determina il metodo di analisi e i valori dei fattori di confidenza da applicare alle proprietà dei materiali da adoperare nelle verifiche di sicurezza.

C8A.1.B.3

Costruzioni in cemento armato o in acciaio: livelli di conoscenza

Ai fini della scelta del tipo di analisi e dei valori dei fattori di confidenza, richiamati in C8.7.2.1, si distinguono i tre livelli di conoscenza seguenti:

- LC1: Conoscenza Limitata;
- LC2: Conoscenza Adeguata;
- LC3: Conoscenza Accurata.

Gli aspetti che definiscono i livelli di conoscenza sono:

- geometria, ossia le caratteristiche geometriche degli elementi strutturali,
- dettagli strutturali, ovvero la quantità e disposizione delle armature, compreso il passo delle staffe e la loro chiusura, per il c.a., i collegamenti per l'acciaio, i collegamenti tra elementi strutturali diversi, la consistenza degli elementi non strutturali collaboranti,
- materiali, ossia le proprietà meccaniche dei materiali.

Il livello di conoscenza acquisito determina il metodo di analisi e i fattori di confidenza da applicare alle proprietà dei materiali. **Le procedure per ottenere i dati richiesti sulla base dei disegni di progetto e/o di prove in-situ sono descritte nel seguito per gli edifici in c.a. e acciaio.**

La relazione tra livelli di conoscenza, metodi di analisi e fattori di confidenza è illustrata nella Tabella C8A.1.2. La definizione dei termini "visivo", "completo", "limitato", "estensivo", "esaustivo", contenuti nella Tabella è fornita nel seguito.

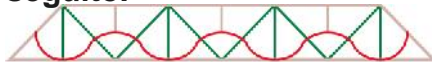


Tabella C8A.1.2 - Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti metodi di analisi ammessi e valori dei fattori di confidenza per edifici in calcestruzzo armato o in acciaio

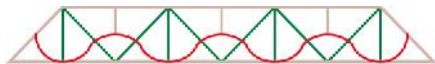
Livello di conoscenza	Geometria (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione oppure rilievo ex-novo completo	Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e limitate verifiche in-situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e limitate prove in-situ	Analisi lineare statica o dinamica	1.35
LC2		Disegni costruttivi incompleti con limitate verifiche in situ oppure estese verifiche in-situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali con limitate prove in-situ oppure estese prove in-situ	Tutti	1.20
LC3		Disegni costruttivi completi con limitate verifiche in situ oppure esaustive verifiche in-situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto con estese prove in situ oppure esaustive prove in-situ	Tutti	1.00

C8A.1.B.4

Costruzioni in calcestruzzo armato o in acciaio: fattori di confidenza

I Fattori di Confidenza indicati nella Tabella C8A.2 possono essere utilizzati, in assenza di valutazioni più approfondite, per definire le resistenze dei materiali da utilizzare nelle formule di capacità degli elementi. **Le resistenze medie, ottenute dalle prove in situ e dalle informazioni aggiuntive, sono divise per i Fattori di Confidenza.**

I Fattori di Confidenza possono anche essere valutati in modo differenziato per i diversi materiali, sulla base di considerazioni statistiche condotte su un insieme di dati significativo per gli elementi in esame e di metodi di valutazione di comprovata validità.



9 COLLAUDO STATICO

9.1 Prescrizioni generali

Il collaudo statico riguarda il giudizio sul comportamento e le prestazioni delle parti dell'opera che svolgono funzione portante.

.....
Il collaudatore controllerà altresì che siano state messe in atto le prescrizioni progettuali e siano stati eseguiti i controlli sperimentali. Quando la costruzione è eseguita in procedura di garanzia di qualità, il collaudatore deve prendere conoscenza dei contenuti dei documenti di controllo qualità e del registro delle non-conformità.

.....
Infine, nell'ambito della propria discrezionalità, il collaudatore potrà richiedere:

- i) di effettuare tutti quegli accertamenti, studi, indagini, sperimentazioni e ricerche utili per formarsi il convincimento della sicurezza, della durabilità e della collaudabilità dell'opera, quali in particolare:*
- *prove di carico;*
 - ***prove sui materiali messi in opera, anche mediante metodi non distruttivi;***
 - *monitoraggio programmato di grandezze significative del comportamento dell'opera da proseguire, eventualmente, anche dopo il collaudo della stessa.*



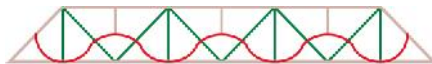
(sclerometro)



(processi corrosivi)



(ultrasonica)



10.

REDAZIONE DEI PROGETTI STRUTTURALI ESECUTIVI E DELLE RELAZIONI DI CALCOLO

Le norme di cui al Capitolo 10, disciplinando la redazione dei progetti esecutivi delle strutture, contengono anche criteri guida per il loro esame ed approvazione da parte degli uffici preposti nonché criteri per la loro verifica e validazione.

.....

10.1

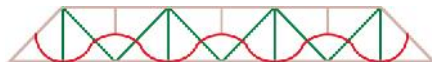
Caratteristiche generali

.....

Il progetto deve comprendere i seguenti elaborati:

- Relazione di calcolo strutturale, comprensiva di una descrizione generale dell'opera e dei criteri generali di analisi e verifica;
- Relazione sui materiali;
- Elaborati grafici, particolari costruttivi;
- Piano di manutenzione della parte strutturale dell'opera;
- **Relazione sui risultati sperimentali corrispondenti alle indagini specialistiche ritenute necessarie alla realizzazione dell'opera.**

.....



11

MATERIALI PRODOTTI PER USO STRUTTURALE

11.1

Generalità

I materiali ed i prodotti per uso strutturale, utilizzati nelle opere soggette alle presenti norme, devono rispondere ai requisiti indicati nel seguito.

I materiali e prodotti per uso strutturale devono essere:

- **identificati univocamente a cura del produttore, secondo le procedure applicabili;**
- **qualificati sotto la responsabilità del produttore, secondo le procedure applicabili;**
- **accettati dal direttore dei lavori mediante acquisizione e verifica della documentazione di qualificazione, nonché mediante eventuali prove sperimentali di accettazione (Prove distruttive in laboratorio e prove non distruttive).**

.....

Le prove su materiali e prodotti, a seconda delle specifiche procedure applicabili, come specificato di volta in volta nel seguito, devono generalmente essere effettuate da:

- laboratori di prova notificati ai sensi dell'art. 18 della direttiva 89/106/CEE;**
- laboratori di cui all'art. 59 del decreto del Presidente della Repubblica 6-6-2001, n. 380;**
- altri laboratori, dotati di adeguata competenza ed idonee attrezzature, appositamente abilitati dal servizio tecnico centrale;**

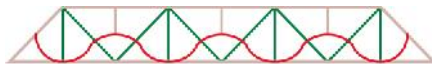
11.2.1

Specifiche per il calcestruzzo

La prescrizione del calcestruzzo all'atto del progetto deve essere caratterizzata almeno mediante la classe di resistenza, la classe di consistenza ed il diametro massimo dell'aggregato. La classe di resistenza è contraddistinta dai valori caratteristici delle resistenze cubica R_{ck} e cilindrica f_{ck} a compressione uniassiale, misurate su provini normalizzati e cioè rispettivamente su cilindri di diametro 150 mm e di altezza 300 mm e su cubi di spigolo 150 mm.

Al fine delle verifiche sperimentali i provini prismatici di base 150 × 150 mm e di altezza 300 mm sono equiparati ai cilindri di cui sopra.

.....



La resistenza caratteristica a compressione è definita come la resistenza per la quale si ha il 5% di probabilità di trovare valori inferiori. Nelle presenti norme la resistenza caratteristica designa quella dedotta da prove su provini come sopra descritti, stagionati e confezionati, eseguite a 28 giorni di maturazione.

11.2.2

Controlli di qualità del calcestruzzo

Il calcestruzzo va prodotto in regime di controllo di qualità, con lo scopo di garantire che rispetti le prescrizioni definite in sede di progetto.

Il controllo si articola nelle seguenti fasi:

- Valutazione preliminare della resistenza: serve a determinare, prima dell'inizio della costruzione delle opere, la miscela per produrre il calcestruzzo con la resistenza caratteristica di progetto.
- Controllo di produzione: riguarda il controllo da eseguire sul calcestruzzo durante la produzione del calcestruzzo stesso.
- Controllo di accettazione: riguarda il controllo da eseguire sul calcestruzzo prodotto durante l'esecuzione dell'opera, con prelievo effettuato contestualmente al getto dei relativi elementi strutturali.
- **Prove complementari: sono prove che vengono eseguite, ove necessario, a complemento delle prove di accettazione.**

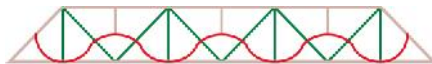
Le prove di accettazione e le eventuali prove complementari, sono eseguite e certificate dai laboratori di cui all'art. 59 del decreto del Presidente della Repubblica 6-6-2001, n. 380.

11.2.3

Valutazione preliminare della resistenza

Il costruttore, prima dell'inizio della costruzione di un'opera, deve effettuare idonee prove preliminari di studio, per ogni miscela omogenea di calcestruzzo da utilizzare, al fine di ottenere le prestazioni richieste dal progetto.

“ per opere di dimensioni maggiori e per lavori pubblici, si consiglia di adottare una propria curva di correlazione, rinveniente da prove distruttive (schiacciamento) e non distruttive (sonreb) su campioni di materiale scelto dalla direzione dei lavori ”.



11.2.5.3

Prescrizioni comuni per entrambi i criteri di controllo

Il prelievo dei provini per il controllo di accettazione va eseguito alla presenza del direttore dei lavori o di un tecnico di sua fiducia che provvede alla redazione di apposito verbale di prelievo e dispone l'identificazione dei provini mediante sigle, etichettature indelebili, ecc.; la certificazione effettuata dal laboratorio prove materiali deve riportare riferimento a tale verbale.

La domanda di prove al laboratorio deve essere sottoscritta dal direttore dei lavori e deve contenere precise indicazioni sulla posizione delle strutture interessate da ogni prelievo.

.....

L'opera o la parte di opera non conforme ai controlli di accettazione non può essere accettata finché la non conformità non è stata definitivamente rimossa dal costruttore, il quale deve procedere ad una verifica delle caratteristiche del calcestruzzo messo in opera mediante l'impiego di altri mezzi d'indagine, seconda quanto prescritto dal direttore dei lavori e conformemente a quanto indicato nel successivo paragrafo 11.2.6.

Qualora gli ulteriori controlli confermino i risultati ottenuti, si dovrà procedere ad un controllo teorico e/o sperimentale della sicurezza della struttura interessata dal quantitativo di calcestruzzo non conforme, sulla base della resistenza ridotta del calcestruzzo.

Ove ciò non fosse possibile, ovvero i risultati di tale indagine non risultassero soddisfacenti si può dequalificare l'opera, eseguire lavori di consolidamento ovvero demolire l'opera stessa.

11.2.6

Controllo della resistenza del calcestruzzo in opera

Nel caso in cui le resistenze a compressione dei provini prelevati durante il getto non soddisfano i criteri di accettazione della classe di resistenza caratteristica prevista nel progetto, oppure sorgano dubbi sulla qualità e rispondenza del calcestruzzo ai valori di resistenza determinati nel corso della qualificazione della miscela, oppure si renda necessario valutare a posteriori le proprietà di un calcestruzzo precedentemente messo in opera, si può procedere ad una valutazione delle caratteristiche di resistenza attraverso una serie di prove sia distruttive che non distruttive. Tali prove non devono, in ogni caso, intendersi sostitutive dei controlli di accettazione.

.....



11.10.2 Malte per muratura

11.10.2.1

Malte a prestazione garantita

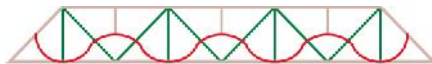
La malta per muratura portante deve garantire prestazioni adeguate al suo impiego in termini di durabilità e di prestazioni meccaniche e deve essere conforme alla norma armonizzata UNI EN 9982.

Le prestazioni meccaniche di una malta sono definite mediante la sua resistenza media a compressione f_m . La categoria di una malta è definita da una sigla costituita dalla lettera M seguita da un numero che indica la resistenza f_m espressa in N/mm^2 secondo la tabella 11.10.III. Per l'impiego in muratura portante non è ammesso l'impiego di malte con resistenza $f_m < 2,5 N/mm^2$.

Tabella 11.10.III - Classi di malte a prestazione garantita

Classe	M 2,5	M 5	M 10	M 15	M 20	M d
Resistenza a compressione N/mm^2	2,5	5	10	15	20	d
d è una resistenza a compressione maggiore di $25 N/mm^2$ dichiarata dal produttore						

Le modalità per la determinazione della resistenza a compressione delle malte sono riportate nella norma UNI EN 1015-11: 2007.



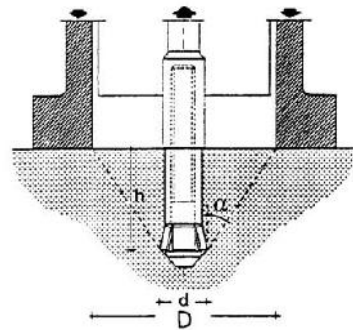
11.10.2.2

Malte a composizione prescritta

Le classi di malte a composizione prescritta sono definite in rapporto alla composizione in volume secondo la tabella seguente:

Tabella 11.10.IV - Classi di malte a composizione prescritta

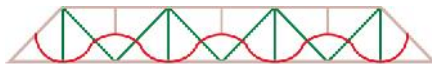
Classe	Tipo di malta	Composizione				
		Cemento	Calce aerea	Calce idraulica	Sabbia	Pozzolana
M 2,5	Idraulica	-	-	1	3	-
M 2,5	Pozzolonica	-	1	-	-	3
M 2,5	Bastarda	1	-	2	9	-
M 5	Bastarda	1	-	1	5	-
M 8	Cementizia	2	-	1	8	-
M 12	Cementizia	1	-	-	3	-



(verifica con metodo pull-out)



(verifica con sonda penetrometrica windsor)



DIRETTIVA DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI 9 febbraio 2011

Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti del 14 gennaio 2008.

I diversi capitoli di questo documento forniscono indicazioni per definire l'azione sismica, in relazione alla pericolosità del sito ed alla destinazione d'uso del manufatto, e la capacità della struttura, attraverso una corretta conoscenza e modellazione del manufatto.

Nel capitolo 2 sono indicati i requisiti di sicurezza da considerare per i beni architettonici di valore storico artistico.

.....

Sono inoltre suggeriti i livelli di protezione sismica, in relazione alle esigenze di conservazione ed alle condizioni d'uso.

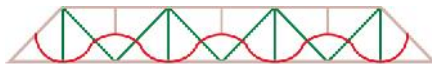
2.5

Modellazione strutturale, analisi sismica e progetto degli interventi per il miglioramento

Per la valutazione della sicurezza sismica ed il progetto degli interventi di miglioramento dei beni culturali tutelati, è necessario:

- **Conseguire una adeguata conoscenza della struttura, che consenta di individuare le caratteristiche degli elementi che determinano il comportamento strutturale. Essa può essere ottenuta con diversi livelli di approfondimento, in funzione di criteri basati sull'accuratezza dei rilievi e delle indagini storiche (cfr. punto C8A della Circolare), sul riconoscimento dell'utilizzo di regole dell'arte, sull'individuazione del livello e della tipologia di danneggiamento, sulla capacità di ricostruzione della storia del manufatto in relazione agli eventi sismici, ed eventualmente sui risultati di indagini sperimentali.**

.....



4 CONOSCENZA DEL MANUFATTO

4.1 Il percorso della conoscenza

4.1.1 Generalità

La conoscenza della costruzione storica in muratura è un presupposto fondamentale sia ai fini di una attendibile valutazione della sicurezza sismica attuale sia per la scelta di un efficace intervento di miglioramento. Le problematiche sono quelle comuni a tutti gli edifici esistenti, anche se nel caso del patrimonio culturale tutelato, ancora più importante risulta conoscere le caratteristiche originarie della fabbrica, le modifiche intercorse nel tempo dovute ai fenomeni di danneggiamento derivanti dalle trasformazioni antropiche, all'invecchiamento dei materiali e agli eventi calamitosi; inoltre tuttavia, in relazione alla necessità di impedire perdite irrimediabili, l'esecuzione di una completa campagna di indagini può risultare troppo invasiva sulla fabbrica stessa.

Si ha pertanto la necessità di affinare tecniche di analisi ed interpretazione dei manufatti storici mediante fasi conoscitive dal diverso grado di attendibilità, anche in relazione al loro impatto. La conoscenza può infatti essere conseguita con diversi livelli di approfondimento, in funzione dell'accuratezza delle operazioni di rilievo, delle ricerche storiche, e delle indagini sperimentali.

.....

4.1.4 Rilievo geometrico

La conoscenza della geometria strutturale di organismi esistenti in muratura deriva di regola da operazioni di rilievo. Il rilievo dovrà essere riferito sia alla geometria complessiva dell'organismo che a quella degli elementi costruttivi, comprendendo i rapporti con gli eventuali edifici in aderenza.

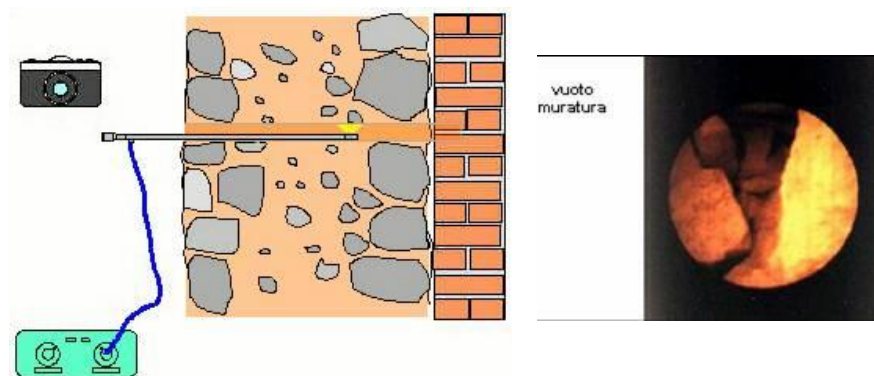
.....

Le difficoltà del rilievo geometrico sono legate all'accessibilità di alcuni spazi, quali sottotetti, volumi tra false volte o controsoffitti e coperture, oppure all'eccessiva altezza degli elementi, come nel caso di campanili, torri, volte in una navata; tuttavia, sono disponibili strumenti che consentono un rapido rilievo e una restituzione accurata anche nel caso di elementi complessi, e tecniche di indagine diretta (endoscopia) o indiretta (termografia, georadar, ecc.) per gli spazi non accessibili.





(indagine diagnostica con termocamera)

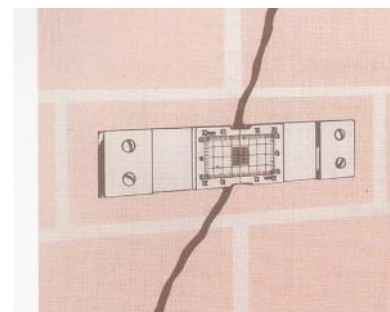
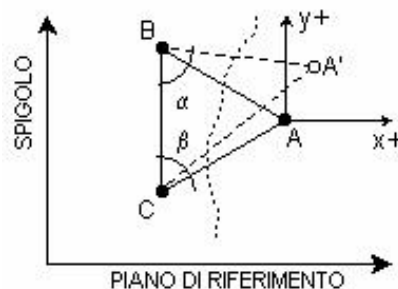


(indagine diagnostica con endoscopia)

.....
Dovrà essere rilevato e rappresentato l'eventuale quadro fessurativo, in modo tale da consentire l'individuazione delle cause e delle possibili evoluzioni delle problematiche strutturali dell'organismo. Le lesioni saranno classificate secondo la loro geometria (estensione, ampiezza) ed il loro cinematismo (distacco, rotazione, scorrimento, spostamento fuori dal piano).



(indagine diagnostica con deformometro)



(indagine con fessurimetro)



Il rilievo geometrico dovrà essere integrato dalla compilazione di moduli schedografici denominati morfologici (modulo C in Allegato A), che consentano di individuare univocamente gli elementi resistenti e i relativi rapporti costruttivi.

4.1.6

Il rilievo materico costruttivo e lo stato di conservazione

Il rilievo materico costruttivo deve permettere di individuare completamente l'organismo resistente della fabbrica, tenendo anche presente la qualità e lo stato di conservazione dei materiali e degli elementi costitutivi. Tale riconoscimento richiede l'acquisizione di informazioni spesso nascoste (sotto intonaco, dietro a controsoffitti, ecc.), che può essere eseguita grazie a tecniche di indagine non distruttive di tipo indiretto (termografia, georadar, tomografia sonica, endoscopia, ecc.) o ispezioni dirette debolmente distruttive (endoscopie, scrostamento di intonaci, saggi, piccoli scassi, ecc.). Un aspetto rilevante è la scelta del numero, della tipologia e della localizzazione delle prove da effettuare.

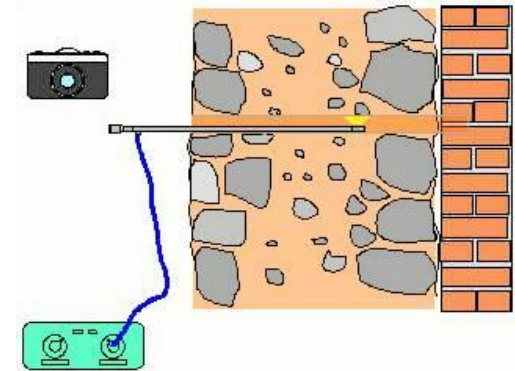
.....



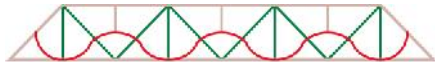
(indagine con termocamera)



(indagine con sonica)



(indagine con endoscopia)



4.1.7

La caratterizzazione meccanica dei materiali

Il rilievo visivo ed alcune indagini possono consentire di giungere ad una buona conoscenza e ad un giudizio sulla qualità dei materiali e del loro degrado. Tuttavia, in alcuni casi la modellazione del comportamento strutturale, specie nei riguardi dell'azione sismica, richiede la conoscenza di parametri meccanici di deformabilità e resistenza dei materiali, ed in particolare della muratura.

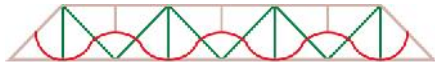
Tecniche diagnostiche non distruttive di tipo indiretto, quali prove soniche ed ultrasoniche, consentono di valutare l'omogeneità dei parametri meccanici nelle diverse parti della costruzione, ma non forniscono stime quantitative attendibili dei loro valori, in quanto essi vengono desunti dalla misura di altre grandezze (ad esempio, la velocità di propagazione di onde di volume).



(indagine diagnostica con sonica ed ultrasonica)

La misura diretta dei parametri meccanici della muratura, in particolare di quelli di resistenza, non può essere eseguita, quindi, se non attraverso prove debolmente distruttive o distruttive, anche se su porzioni limitate. Le calibrazioni di prove non distruttive con prove distruttive possono essere utilizzate per ridurre l'invasività delle indagini di qualificazione.

La caratterizzazione degli elementi costituenti (malta; mattoni o elementi lapidei) può essere eseguita in sito o su campioni di piccole dimensioni, prelevati e successivamente analizzati in un laboratorio, di cui all'art. 59 del DPR 380/2001. Per quanto riguarda le malte possono essere eseguite, tra le altre: a) prove sclerometriche e penetrometriche; b) analisi chimiche, su campioni prelevati in profondità in modo da non essere soggetti al degrado superficiale, per la caratterizzazione della malta. Sui mattoni, oltre a determinarne le caratteristiche fisiche, è possibile valutare il modulo elastico e le resistenze a trazione e compressione attraverso prove meccaniche in laboratorio, di compressione e flessione. Per quanto riguarda gli elementi lapidei, possono essere eseguite una caratterizzazione litologica.



Le caratteristiche meccaniche della muratura possono essere desunte dalle proprietà degli elementi costituenti solo nel caso della muratura di mattoni o di elementi naturali squadrate ed a tessitura regolare; in questo caso è possibile fare riferimento alle indicazioni contenute nel punto 11.10 delle NTC o in altri documenti di riconosciuto valore scientifico e tecnico.

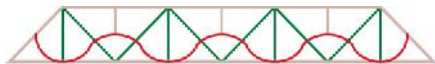


(muratura squadrata con tessitura regolare)

Negli altri casi, è possibile far ricorso alle seguenti metodologie di prova in sito:



(muratura non squadrata con tessitura irregolare)



- per la determinazione del modulo di elasticità normale e della resistenza a compressione: a) doppio martinetto piatto (tecnica debolmente distruttiva, in quanto eseguita su una porzione limitata di un paramento murario sottoposto ad una sollecitazione massima corrispondente all'innesco della fessurazione, da realizzare mediante l'esecuzione di tagli di piccole dimensioni, preferibilmente eseguiti nei giunti di malta e quindi facilmente ripristinabili);



(indagine diagnostica con doppio martinetto piatto)

$$\text{Tensione media di deformazione} = p \times (A_m / A_t) \times K_m$$

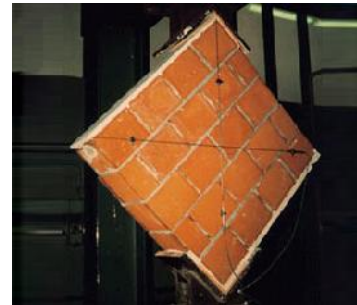
$$\text{Modulo elasticità della muratura} E = \frac{p}{\epsilon}$$

b) prova a compressione su un pannello murario (molto invasiva, in quanto coinvolge una porzione rilevante di muratura, dell'ordine del metro, e richiede l'esecuzione di tagli di notevoli dimensioni per l'alloggiamento dei martinetti e spesso di onerose strutture di contrasto). La prova di tipo b) va limitata ai soli casi in cui le altre metodologie di indagine non forniscano valutazioni sufficientemente attendibili o quando siano disponibili murature di sacrificio;

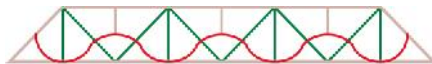
- per la determinazione della resistenza e del modulo a taglio sono generalmente utilizzabili prove su pannelli per le quali valgono le considerazioni riportate nel paragrafo precedente, secondo due modalità: a) prova di compressione diagonale, su un pannello quadrato; b) prova di compressione e taglio, su un pannello rettangolare di altezza doppia rispetto alla larghezza. Entrambe queste prove hanno carattere fortemente invasivo.



(prova a compressione)



(prova a trazione)



4.1.9 Monitoraggio

Il controllo periodico della costruzione rappresenta il principale strumento per una consapevole conservazione, in quanto consente di programmare la manutenzione ed attuare in tempo, quando realmente necessari, gli interventi di riparazione, in caso di danno strutturale, e di consolidamento, finalizzato alla prevenzione

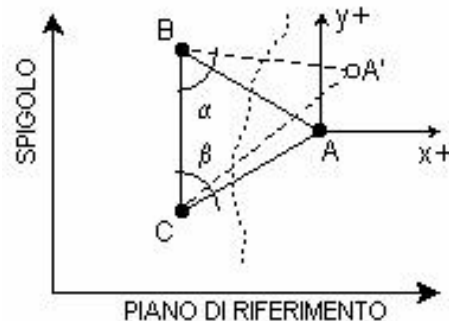
Il monitoraggio visivo, inteso come controllo periodico dell'insorgenza di stati fessurativi, fenomeni di degrado, trasformazioni nella struttura e nell'ambiente circostante, rappresenta il punto di partenza di tale attività.

Informazioni aggiuntive possono essere acquisite attraverso il monitoraggio strumentale di alcuni parametri ritenuti significativi (movimento delle lesioni, spostamenti assoluti o relativi di punti della costruzione, rotazione di pareti o altri elementi). Il movimento delle lesioni può essere controllato pressoché in continuo e a distanza (indagini con deformometro elettronico, fessurimetri...); occorre tuttavia considerare che, in relazione alla tipologia di dissesto, le soglie di pericolosità di tali spostamenti relativi possono essere anche molto diverse. Il controllo geometrico della costruzione può essere eseguito mediante procedure di rilievo topografico, fotogrammetrico, o utilizzando tecniche innovative, come la nuvola di punti generata dal *laser scanner*. Il progetto di monitoraggio richiede una preliminare interpretazione del meccanismo di dissesto, che può spesso essere eseguita grazie alla meccanica dell'equilibrio delle murature considerate come corpo rigido; ciò permette di individuare una serie di punti notevoli da controllare. In alcuni casi, quando l'eventuale dissesto è ben compreso e possono essere definite soglie di sicurezza, il monitoraggio può rappresentare un'alternativa all'intervento, a vantaggio della conservazione.

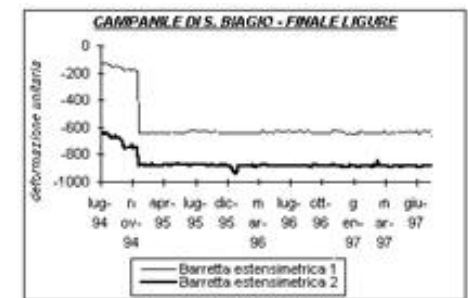
.....



(prova con deformometro meccanico)



(prova con deformometro elettronico)



6.4

Operazioni progettuali

Il progetto di lavori riguardanti i beni del patrimonio culturale è articolato in tre livelli (progetto preliminare, definitivo, esecutivo), secondo le disposizioni della normativa vigente in materia di progettazione di lavori pubblici.

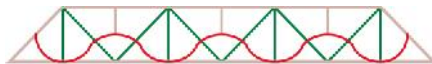
- - livello di progetto preliminare, deve essere effettuata una valutazione preliminare della sicurezza sismica della costruzione nel suo stato attuale, che può essere conseguita con gli strumenti di valutazione del livello LV1. La relazione illustrativa relativamente alla costruzione nello stato attuale, oltre a quanto già prescritto dalle vigenti disposizioni, deve perciò descrivere la sua storia sismica ed il comportamento sismico accertato su base qualitativa, mentre la relazione tecnica deve riportare la valutazione della sicurezza sismica attraverso i modelli semplificati di livello LV1. Al fine di strutturare ed uniformare il processo di acquisizione della conoscenza del manufatto, è possibile fare riferimento ai moduli illustrati nell'Allegato A.
- Nella successiva fase di progettazione definitiva devono essere valutate sia la sicurezza attuale che quella conseguita a seguito dell'intervento, attraverso il livello di valutazione LV2 o LV3, a seconda che l'intervento sia locale o di riparazione, o interessi il miglioramento sismico dell'intera costruzione. La relazione tecnica specialistica, oltre a quanto già prescritto dalle vigenti disposizioni, deve: definire l'azione sismica di riferimento adottata per il sito; illustrare i risultati delle analisi diagnostiche svolte sul manufatto, al fine della lettura materico costruttiva, della caratterizzazione dei materiali, dell'interpretazione dei dissesti e dell'individuazione dei possibili meccanismi di danno sismico (indagine diagnostica con: termocamera, martinetti piatti, sonica, endoscopia, pull-out, deformometro, processi corrosivi del ferro...); illustrare il modello meccanico della struttura adottato per l'analisi sismica, motivando la scelta del tipo di analisi svolta, ed inquadrarlo secondo i previsti livelli di valutazione LV2 o LV3; fornire il giudizio finale sulla efficacia dell'intervento, non solo attraverso considerazioni qualitative ma anche sulla base di un confronto tra la capacità della struttura, che risulta dai modelli di calcolo, e la domanda derivante dall'azione sismica di riferimento.
- Il progetto esecutivo deve precisare le modalità esecutive delle operazioni tecniche da eseguire ed indicare i controlli da effettuare in cantiere, con riferimento alla corretta esecuzione ed all'efficacia degli interventi eseguiti, e nella fase post intervento, nell'ambito di programmi di manutenzione e controllo.
E' peraltro necessario che, nel corso dei lavori, siano predisposti elaborati che illustrino in dettaglio gli interventi così come eseguiti sulla costruzione.



QUADRO RIASSUNTIVO DEL PERCORSO DI VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA E PROGETTO DEGLI INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO SISMICO

Nei capitoli precedenti sono state fornite le indicazioni per la valutazione della sicurezza sismica del patrimonio culturale, da eseguirsi in conformità a quanto previsto dal Codice, dalle NTC e dalla relativa Circolare. Questo capitolo costituisce semplicemente un quadro di sintesi, che non aggiunge nulla rispetto a quanto già indicato e non può peraltro essere considerato esaustivo.

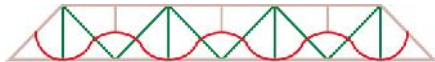
-
- tre livelli di valutazione (LV, vedi § 5.3), corrispondenti alle diverse condizioni nelle quali si esegue l'analisi della sicurezza sismica:
 - 1) valutazione della vulnerabilità del patrimonio culturale a scala territoriale;
 - 2) progettazione di interventi locali o di riparazione;
 - 3) progettazione di interventi di miglioramento sismico che coinvolgono il comportamento dell'interno manufatto;
 - **un fattore di confidenza (FC, vedi § 4.2), in funzione del grado di approfondimento delle indagini sul manufatto, per tener conto delle incertezze insite nella conoscenza; il fattore di confidenza si applica ai parametri meccanici dei materiali o direttamente alla valutazione della sicurezza sismica, in funzione del modello di calcolo impiegato.**
-



NORME UNI PER LA DIAGNOSTICA

Italia

UNI ISO 5347:1993	Metodi per la taratura di trasduttori di urti e vibrazioni. Concetti di base
UNI 6131:2002	Prelevamento campioni di calcestruzzo indurito
UNI 8290:1981	Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Classificazione e terminologia
UNI 8555:1984	Prove non distruttive. Controlli mediante ultrasuoni. Termini e definizioni
UNI 9094:1987	Prove non distruttive. Determinazione della velocità di propagazione degli ultrasuoni nei materiali solidi
UNI 9124-2:1987	Edilizia residenziale. Strutture di elevazione di muratura (ed elementi costruttivi associati). Classificazione dei degradi e degli interventi
UNI 9437:1989	Prove non distruttive. Apparecchiature ad ultrasuoni. Verifica delle caratteristiche controllabili mediante strumentazione esterna
UNI 9524:1989	Calcestruzzo indurito. Rilievi microsismici mediante impulsi d'onde vibrazionali ad alta frequenza, in campioni o strutture di calcestruzzo semplice, armato o precompresso
UNI 9535:1989	Corrosione e protezione dell'armatura del calcestruzzo. Determinazione del potenziale dei ferri di armatura
UNI 9536:1986	Calcestruzzo indurito. Determinazione della forza di estrazione con inserti preinglobati nel getto
UNI 9614:1990	Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo
UNI 9916:2004	Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici
UNI 9944:1992	Corrosione e protezione dell'armatura del calcestruzzo. Determinazione della profondità di carbonatazione e del profilo di penetrazione degli ioni cloruro nel calcestruzzo
UNI 10174:1993	Istruzioni per l'ispezione delle strutture di cemento armato esposte all'atmosfera mediante mappatura di potenziale



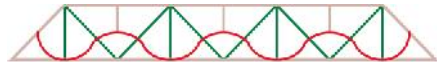
UNI 10157:1992	Calcestruzzo indurito. Determinazione della forza di estrazione mediante inserti post-inseriti ad espansione geometrica e forzata
UNI 10627:1997	Prove non distruttive - Qualifica e certificazione del personale addetto alle prove non distruttive. Principi generali

UNI 10766:1999	Calcestruzzo indurito - Prove di compressione su provini ricavati da microcarote per la stima delle resistenze cubiche locali del calcestruzzo in situ
UNI 10824-1:2000	Prove non distruttive - Termoografia all'infrarosso - Termini e definizioni
UNI 10924:2001	Beni culturali - Malte per elementi costruttivi e decorativi - Classificazione e terminologia
UNI 11048:2003	Vibrazioni meccaniche ed urti - Metodo di misura delle vibrazioni negli edifici al fine della valutazione del disturbo
UNI 11060:2003	Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Determinazione della massa volumica e della percentuale di vuoti
UNI 11088:2003	Beni culturali - Malte storiche e da restauro - Caratterizzazione chimica di una malta - Determinazione del contenuto di aggregato siliceo e di alcune specie solubili
UNI 11089:2003	Beni culturali - Malte storiche e da restauro - Stima della composizione di alcune tipologie di malte
UNI 11118:2004	Beni culturali - Manufatti lignei - Criteri per l'identificazione delle specie legnose
UNI 11119:2004	Beni culturali - Manufatti lignei -, Strutture portanti degli edifici - Ispezione in situ per la diagnosi degli elementi in opera
UNI 11121:2004	Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Determinazione in campo del contenuto di acqua con il metodo al carburo di calcio
UNI 11130:2004	Beni culturali - Manufatti lignei - Terminologia del degradamento del legno

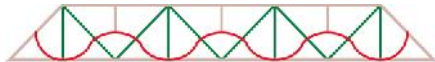


UNI 11131:2005	Beni culturali - Misurazione in campo dell'umidità dell'aria
UNI 11138:2004	Beni culturali - Manufatti lignei - Strutture portanti degli edifici - Criteri per la valutazione preventiva, la progettazione e l'esecuzione di interventi
UNI 11139:2004	Beni culturali - Malte storiche - Determinazione del contenuto di calce libera e di magnesia libera
UNI 11140:2004	Beni culturali - Malte storiche - Determinazione del contenuto di anidride carbonica
UNI 11141:2004	Beni culturali - Manufatti lignei - Linee guida per la datazione dendrocronologica del legno
UNI 11161:2005	Beni culturali - Manufatti lignei - Linee guida per la conservazione, il restauro e la manutenzione
UNI 12390-3:2003	Testing hardened concrete - Part 3: Compressive strength of test specimens

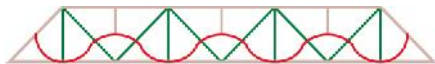
UNI EN 473:1993	Prove non distruttive - Qualifica e certificazione del personale addetto alle prove non distruttive. Principi generali
UNI EN 583-1:2004	Prove non distruttive - Esame ad ultrasuoni - Principi generali
UNI EN 583-2:2004	Prove non distruttive - Esame ad ultrasuoni - Regolazione della sensibilità e dell'intervallo di misurazione della base dei tempi
UNI EN 583-3:1998	Prove non distruttive - Esame ad ultrasuoni - Tecnica per trasmissione
UNI EN 583-4:2004	Prove non distruttive - Esame ad ultrasuoni - Parte 4: Esame delle discontinuità perpendicolari alla superficie
UNI EN 583-5:2004	Prove non distruttive - Esame ad ultrasuoni - Caratterizzazione e dimensionamento delle discontinuità
UNI EN 1015-1:2000	Metodi di prova per malte per opere murarie - Determinazione della distribuzione granulometrica (mediante staccatura)
UNI EN 1015-12:2002	Metodi di prova per malte per opere murarie - Determinazione dell'aderenza al supporto di malte da intonaco esterno ed interno



UNI EN 1330-1:2000	Prove non distruttive - Terminologia - Lista dei termini generali
UNI EN 1330-2:2000	Prove non distruttive - Terminologia - Termini comuni ai metodi di prove non distruttive
UNI EN 1330-3:1998	Prove non distruttive - Terminologia - Termini utilizzati nel controllo radiografico industriale
UNI EN 1330-4:2005	Prove non distruttive - Terminologia - Parte 4: Termini usati nel controllo con ultrasuoni
UNI EN 1330-5:2000	Prove non distruttive - Terminologia - Termini utilizzati nel controllo con correnti indotte
UNI EN 1330-7:2005	Prove non distruttive - Terminologia - Parte 7: Termini utilizzati in magnetoscopia
UNI EN 1330-8:2000	Prove non distruttive - Terminologia - Termini utilizzati nelle prove di tenuta
UNI EN 1330-9:2002	Prove non distruttive - Terminologia - Termini utilizzati nel controllo con emissioni acustiche
UNI EN1330-10:2004	Prove non distruttive - Terminologia - Termini utilizzati negli esami visivi
UXI EN 1542:2000	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Misurazione dell'aderenza per trazione diretta
UNI EN 10002-1:1992	Materiali metallici - Prova di trazione - Metodo di prova (a temperatura ambiente)
UNI EN 12084:2004	Prove non distruttive - Controllo mediante correnti indotte - Principi generali e linee guida
UNI EN 12504-1:2002	Prove sul calcestruzzo nelle strutture: carote, prelievo, esame e prova di compressione
UNI EN 12504-2:2001	Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Prove non distruttive - Determinazione dell'indice sclerometrico
UNI EN 12504-3:2005	Prove sul calcestruzzo delle strutture: Determinazione della forza di estrazione
UNI EN 12504-4:2005	Esame sul calcestruzzo delle strutture - Determinazione della velocità di propagazione di ultrasuoni
UNI EN 13018:2004	Prove non distruttive - Esame visivo - Principi generali



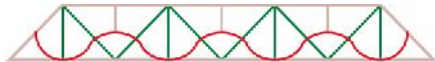
UNI EN 14127:2004	Prove non distruttive - Misurazione dello spessore mediante ultrasuoni
UNI EN ISO 15630-1:2004	Acciaio per calcestruzzo armato e calcestruzzo armato precompresso - Metodi di prova - Parte 1: Barre rotoli e fili per calcestruzzo armato
UNI EN ISO 15630-2:2004	Acciaio per calcestruzzo armato e calcestruzzo armato precompresso - Metodi di prova - Parte 2: Reti saldate
UNI EN ISO 15630-3:2004	Acciaio per calcestruzzo armato e calcestruzzo armato precompresso - Metodi di prova - Parte 3: Acciaio per calcestruzzo armato precompresso
UNI ENV 583-6:2001	Prove non distruttive. Esame ad ultrasuoni. Tecnica a diffrazione del tempo di volo come metodo di rilevamento e dimensionamento delle discontinuità
C.N.R. 10024/86	Analisi mediante elaboratore: impostazione e redazione delle relazioni di calcolo
UNI ENV 1992-1-1:2005	Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici



INDICE

- PREMESSA	Pag. 2
- LA DIAGNOSTICA NON DISTRUTTIVA A COSA SERVE	Pag. 3
- LEGGI	Pag. 4
- NORMATIVE	Pag. 5
- LEGGI E NORME NECESSARIE PER “FAR” ESEGUIRE LE INDAGINI DIAGNOSTICHE	Pag. 6
- CAPITOLI del D.M. 14- 01- 2008 e CIRCOLARE n. 617 DEL 02-02-2009	Pag. 6
- DIRETTIVA DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI 9 febbraio 2011	Pag. 32
- NORME UNI PER LA DIAGNOSTICA	Pag. 42

aprile 2013



Arch. COSIMO PALMIERI
email: diagnosticastrutturale@gmail.com
www.archpalmieri.it