



1

CIAS Verona 8 giugno 2007

**Giornata di aggiornamento**

**Le indagini sperimentali come supporto al risanamento degli edifici**

## **Prove non distruttive per la valutazione del calcestruzzo nelle strutture in c.a. esistenti**

**Giovanni Pascale**

*DISTART - Università di Bologna  
Laboratorio Resistenza Materiali  
giovanni.pascale@unibo.it*

**Verona, 8 giugno 2007**

Alma Mater Studiorum - Università di Bologna



2

CIAS Verona 8 giugno 2007

## **Contenuti**

- **Finalità delle prove non distruttive sul calcestruzzo nelle strutture esistenti**
- **Generalità sui metodi non distruttivi**
- **Campagne di indagine su strutture**
- **Curve di correlazione**
- **Quadro normativo**

Alma Mater Studiorum - Università di Bologna



## FINALITÀ DELLE PROVE NON DISTRUTTIVE SUL CALCESTRUZZO NELLE STRUTTURE ESISTENTI

3

### *Individuazione e analisi dei difetti*

- Metodo degli ultrasuoni
- Metodi sonici
- Georadar
- Termografia
- Emissione acustica

### *Rilievo delle armature*

- Magnetoscopia

### *Stima della classe di resistenza*

- Metodo sclerometrico
- Metodo degli ultrasuoni
- Metodo di estrazione
- Metodo di penetrazione
- Microcarotaggio
- Metodi combinati



## GENERALITÀ SUI METODI NON DISTRUTTIVI

4



## Rilievo delle armature

### Pacometro

Strumento magnetico in grado di

- individuare le armature;
- stimare il diametro o il copriferro.



### Campi d'impiego

- Rilievo della maglia di armatura;
- Individuazione di zone libere da armature per l'esecuzione di carotaggi o prove non distruttive.



## Stima della classe di resistenza

### Metodo sclerometrico

Normativa italiana: UNI 9189-88

"Calcestruzzo indurito - Determinazione dell'indice sclerometrico"

Sostituita dalla Norma Europea

UNI EN 12504-2:2001

"Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Prove non distruttive -  
Determinazione dell'indice sclerometrico"

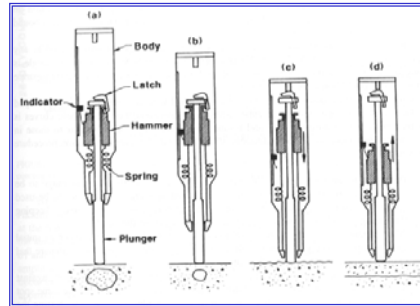


**Scopo**

*Determinazione dell'indice sclerometrico (o di rimbalzo) in una zona di calcestruzzo indurito, confezionato con inerti ordinari.*

**Apparecchiatura**

*Sclerometro: Massa battente in acciaio, azionata da una molla, che contrasta un'asta di percussione a contatto sulla superficie di prova del calcestruzzo.  
Energia d'impatto: 2,21 J.*



**Stima della classe di resistenza**

**Metodo di penetrazione**

*Normativa di riferimento: ASTM C 803/C 803M – 97  
"Standard Test Method for Penetration Resistance of Hardened Concrete"*

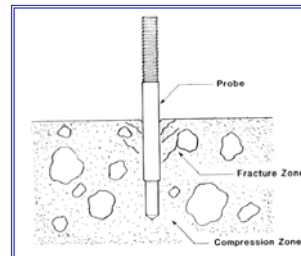
**Principio**

*Una sonda di acciaio o un chiodo vengono infissi nel calcestruzzo da un apposito strumento, con energia predeterminata.*

**Scopo**

*Valutare l'uniformità del calcestruzzo e la presenza di zone danneggiate o di qualità scadente.*

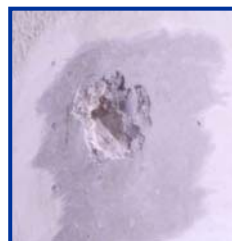
*Stimare la resistenza a compressione, in presenza di una curva di correlazione determinata per una configurazione strumentale definita e per un calcestruzzo con determinati componenti.*



**Resistenza alla penetrazione con sonde d'acciaio ( Windsor Probe System)  
Apparecchiatura**



*Una sonda di 8 mm di diametro e 80 mm di lunghezza, con punta conica, (Windsor Probe) viene sparata per mezzo di un'apposita pistola con carica di potenza standardizzata. Si misura la lunghezza della parte di sonda non penetrata nel calcestruzzo.*



## Metodo di estrazione

### Resistenza all'estrazione con inserti preinglobati

Normativa italiana: UNI 9536-89

"Calcestruzzo indurito: determinazione della forza di estrazione con inserti preinglobati nel getto".

Normativa europea

prEN 12504-3:1999

"Testing of concrete in structures – Determination of pull-out force"

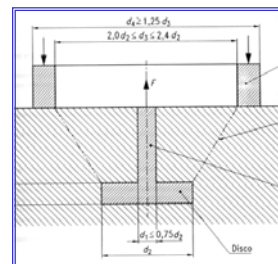
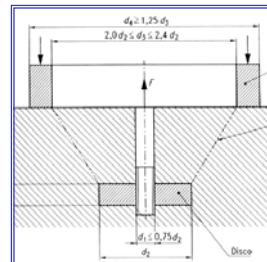


### Scopo

- Stabilire quando le proprietà meccaniche in sito di un calcestruzzo abbiano raggiunto un livello compatibile con i requisiti prefissati;
- in presenza di una specifica curva di taratura, stimare la resistenza a compressione del calcestruzzo in sito.

### Principio

Ancoraggio di un inserto metallico al cassero prima del getto. Misurazione dopo l'indurimento del calcestruzzo, mediante apposita apparecchiatura, della forza di estrazione. La frattura del calcestruzzo avviene teoricamente secondo una superficie pressoché troncoconica.



## Prova di estrazione con inserti preinglobati: sistema Lok-Test



## Stima della classe di resistenza

### Resistenza all'estrazione con inserti post - inseriti

**Normativa italiana: UNI 10157-92**

**"Calcestruzzo indurito: determinazione della forza di estrazione mediante inserti post-inseriti ad espansione geometrica e forzata".**

**Normativa europea  
prEN 12504-3:1999-12**

**"Testing of concrete in structures – Determination of pull-out force"**

**Inserto:**

**è costituito da un elemento metallico ad espansione**

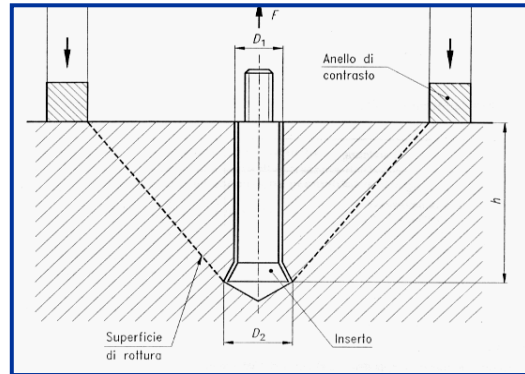
**geometrica**

**forzata**



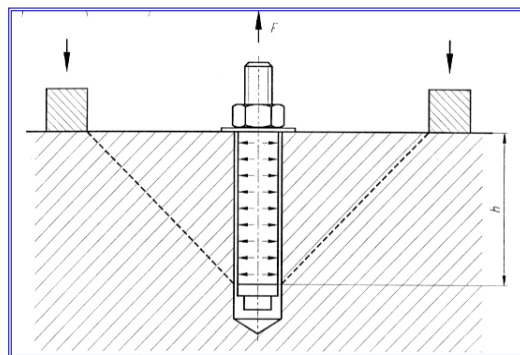
### **Inserto ad espansione geometrica**

*Si ricava nel calcestruzzo un foro con una cavità.  
L'inserto si adatta alla cavità senza provocare particolari stati di tensione nel calcestruzzo.*



### **Inserto ad espansione forzata**

*L'inserto si adatta alla cavità del foro e l'espansione forzata viene prodotta mediante l'applicazione di una certa coppia di serraggio, controllandone il valore con apposito misuratore.  
L'inserto deve essere tale da produrre, nel serraggio, un'espansione forzata uniforme sull'intera superficie cilindrica del foro.*





**Prova di estrazione con inserti post-inseriti: sistema Capo-Test**



## **Metodo degli ultrasuoni**

*Normativa italiana: 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.*

*Sostituita dalla Norma Europea  
UNI EN 12504-4*

*“Testing of concrete in structures – Determination of ultrasonic pulse  
velocity”*

*“Prove sul calcestruzzo nelle strutture – Parte 4: Determinazione della  
velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici”*



### **Scopo**

*Determinazione del tempo di propagazione di impulsi di vibrazione in  
campioni o strutture di calcestruzzo fra una o più coppie di punti, per  
ricavare la “velocità apparente” di propagazione.*

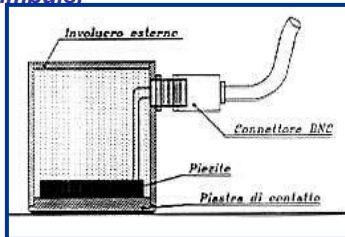
*Si può indagare su:*

- omogeneità del calcestruzzo;*
- difetti di getto;*
- variazioni delle proprietà causate dalla storia dell'elemento;*
- modulo di elasticità dinamico;*
- coefficiente di Poisson dinamico;*
- in combinazione con altre determinazioni, per stimare la resistenza del  
calcestruzzo in sito.*

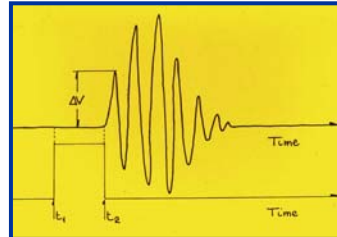


## Principi di base del metodo

- si determina la velocità con cui le onde elastiche a frequenza ultrasonica attraversano il mezzo in esame
- la velocità di propagazione è funzione dell'elasticità del mezzo e della sua densità
- le disomogeneità (fessure, zone degradate, cavità, ..) possono essere indagate studiando le variazioni di velocità e di attenuazione degli impulsi



Sonda (emittente o ricevente)



Impulso in ricezione



## Strumentazione



Strumento ad ultrasuoni



Analizzatore  
microsismico

Frequenze (su calcestruzzo): 25 – 100 kHz



## Microcarotaggio

Normativa italiana: UNI 10766:1999

*Calcestruzzo indurito - Prove di compressione su provini ricavati da microcarote per la stima delle resistenze cubiche locali del calcestruzzo in situ*

### Scopo e campo di applicazione

*Prova a compressione su provini aventi diametro nominale di 28 mm e di pari altezza, ricavati da microcarote di calcestruzzo con aggregati di diametro non maggiore di 31,5 mm.*

*Il metodo è utilizzabile per stimare la resistenza cubica locale a compressione del calcestruzzo in situ e per valutare l'omogeneità delle resistenze di elementi strutturali.*

*Il metodo non è applicabile per calcestruzzo avente resistenza cubica a compressione minore di 20 MPa.*



## Metodi combinati

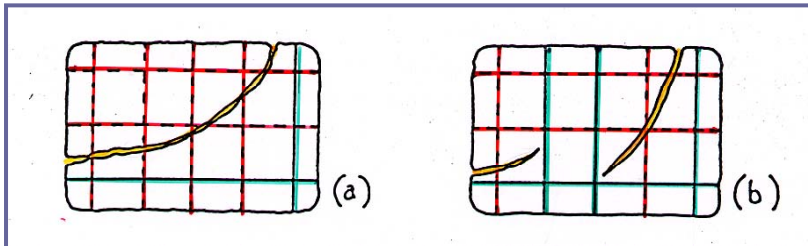
*La combinazione di più metodi permette di compensare l'effetto di alcuni fattori che influenzano le determinazioni sperimentali.*

*Il metodo combinato più diffuso è quello noto come SON-REB, consistente nella combinazione di analisi microsismiche e metodo sclerometrico.*



## Metodo degli ultrasuoni

Indagini con determinazione di velocità e attenuazione su reticoli di traiettorie



## Metodi sonici

### Prove in trasmissione

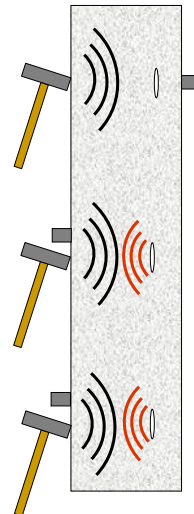
Analoghe alle indagini con ultrasuoni, ma con eccitazione impulsiva e frequenze inferiori

### Prove in riflessione

Determinazione degli "echi" di eventuali difetti

### Impact Echo

Prove in riflessione con analisi in frequenza



**Analisi dei difetti**

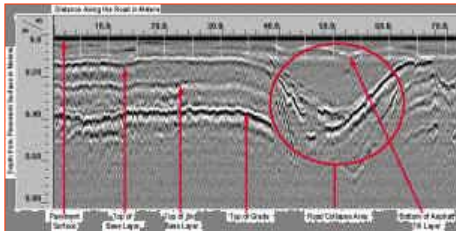
**Georadar**

*Un impulso radio a larga banda viene inviato nel materiale attraverso un'antenna accostata alla superficie.*

*La sua eco permette di individuare vuoti, inclusioni o altri difetti.*

*Gli impulsi riflessi sono registrati in forma digitale ed elaborati per ottenere rappresentazioni grafiche.*

*La profondità di investigazione e la risoluzione dipendono dalla frequenza dell'antenna usata.*



Alma Mater Studiorum - Università di Bologna



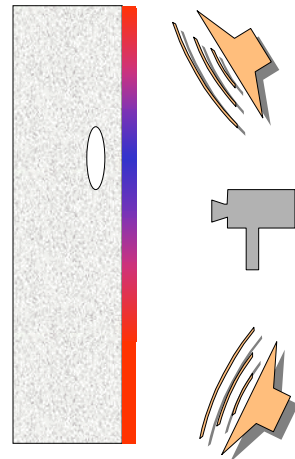
**Analisi dei difetti**

**Termografia**

*La termografia è la produzione di immagini termiche ottenute con una telecamera a infrarossi.*

*L'applicazione di questa tecnica richiede un "transiente termico" (riscaldamento o raffreddamento) e consente di individuare zone con temperatura diversa da quelle circostanti, per effetto della loro diversa conducibilità termica.*

*La conducibilità termica può essere alterata dalla presenza di difetti come distacchi, vuoti o nidi di ghiaia.*



Alma Mater Studiorum - Università di Bologna



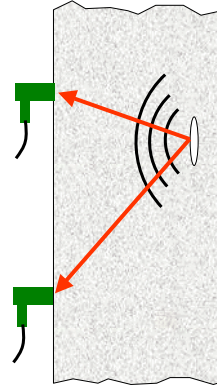
## Emissione acustica

Quando un elemento strutturale è sollecitato, al suo interno si può verificare un rilascio di energia, a causa della formazione o crescita di fratture.

Gli eventi acustici possono essere misurati da trasduttori posti in superficie.

Per mezzo di opportune triangolazioni, valutando l'istante di arrivo di uno stesso "evento acustico" con trasduttori posizionati in diversi punti, è possibile individuare la posizione del difetto.

E' un metodo di controllo "passivo".



## CAMPAGNE DI INDAGINE SU STRUTTURE



## Pianificazione di una campagna

➤ Scelta del numero di elementi da provare e delle posizioni di prova in relazione all'obiettivo della campagna:

- stima della classe di resistenza;
- analisi dei difetti.

➤ scelta dei metodi di prova

(finalità dell'intervento, costi, non invasività,...);

➤ in ogni caso

- rilievo preliminare delle armature;
- controllo della carbonatazione superficiale.



## Campagne di prova per la stima della classe di resistenza del calcestruzzo in opera

### Procedura classica

(Secondo prEN 13791:2005)

- stima della resistenza caratteristica "attuale" del calcestruzzo in opera  $R_{ck,a}$ ;
- valutazione della resistenza caratteristica "potenziale"  $R_{ck}$  (classe del calcestruzzo);
- applicazione del coefficiente parziale  $\gamma_{m,c}$  per la valutazione della resistenza di progetto.

$$R_{ck} = \frac{R_{ck,a}}{0,85}$$

$$f_{cd} = \frac{R_{ck}}{\gamma_{m,c}}$$





## Procedura alternativa (secondo OPCM 3431/2005)

- *stima della resistenza media “attuale” del calcestruzzo in opera mediante prove su campioni e prove non distruttive;*
- *divisione per un “Fattore di confidenza” (da 1,00 a 1,35) dipendente dal Livello di conoscenza della struttura.*



## Stima della classe di resistenza Secondo prEN 13791:2005

- **Per mezzo di carote**  
*Approccio di tipo A (almeno 15 carote) o B (da 3 a 14 carote)*
- **Con metodi indiretti (non distruttivi)**  
*Alternativa 1: determinazione di una curva di correlazione con la resistenza di carote (almeno 18 coppie di valori).*  
*Alternativa 2: impiego di una correlazione disponibile e calibrazione per confronto con i risultati forniti da un limitato numero di carote.*



## **Procedura per la stima della classe di resistenza del calcestruzzo su strutture esistenti con metodi non distruttivi**

- **Determinazione della curva sperimentale di taratura;**
- **valutazione preliminare dell'omogeneità (sensibilità dei metodi);**
- **suddivisione in classi omogenee;**
- **stima della classe di resistenza attuale;**
- **passaggio alla classe di resistenza potenziale.**



## **Quadro normativo**

**Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti**  
**Norme Tecniche per le Costruzioni (2005)**  
**Supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale del 23-9-2005**

**Presidenza del Consiglio dei Ministri**  
**Ordinanza 3431 del 3 maggio 2005**  
**Ulteriori modifiche ed integrazioni all'Ordinanza N. 3274**  
**del 20 marzo 2003, recante**  
**"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione**  
**sismica del territorio nazionale**  
**e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"**



**Raccomandazioni relative a costruzioni in cemento armato**

**British Standard BS 6089:1981**  
**Guide to assessment of concrete strength in existing structures**

**American Concrete Institute – ACI 228.1R-95**  
**In-place methods to estimate concrete strength**

**European standard prEN 13791 (2005)**  
**Assessment of concrete compressive strength in structures or in structural elements**

**Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (2005)**  
**Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive**



**Norme Tecniche per le Costruzioni (2005)**

**Cap. 8: Collaudo statico**  
**8.1. Prescrizioni generali**

Inoltre, nell'ambito della propria discrezionalità, il Collaudatore potrà richiedere:  
 g) 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 prove non distruttive: nel caso delle strutture di conglomerato cementizio armato il controllo della resistenza del calcestruzzo in opera va effettuato in conformità a quanto indicato nel paragrafo 11.1.6;
- monitoraggio programmato di grandezze significative del comportamento dell'opera, da proseguire anche dopo il collaudo della stessa.



## **Norme Tecniche per le Costruzioni (2005)**

### **Cap. 9: Costruzioni esistenti**

#### **9.3. Criteri generali**

Per le strutture per le quali non sia reperibile il progetto esecutivo dell'opera, la relazione di calcolo, i disegni costruttivi ovvero le indagini originali sui materiali e sui terreni di sedime, si potrà impostare una campagna di accertamenti in situ possibilmente mediante prove non distruttive ed indagini che non alterino il comportamento dei terreni di fondazione.



## **Norme Tecniche per le Costruzioni (2005)**

### **Cap. 11: Materiali e prodotti per uso strutturale**

#### **11.1.6. Controllo della resistenza del calcestruzzo in opera**

Nel caso in cui le resistenze a compressione dei provini prelevati durante il getto non soddisfino 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 prove non distruttive. Tali prove non devono, in ogni caso, intendersi sostitutive dei controlli di accettazione.



## **Norme Tecniche per le Costruzioni (2005)**

### **Cap. 11: Materiali e prodotti per uso strutturale**

#### **11.1.6. Controllo della resistenza del calcestruzzo in opera**

Il valor medio della resistenza del calcestruzzo in opera (definito anche come valore attuale) è in genere inferiore al valor medio della resistenza dei prelievi. È accettabile un valor medio, misurato con tecniche opportune (distruttive e non distruttive) e debitamente trasformato in resistenza cubica, non inferiore all'85% di  $R_{ck}$ . Per la modalità di determinazione della resistenza in situ si potrà fare riferimento alle norme EN 12504-1 e 2.

**Carotaggi**

**Prove sclerometriche**



## **Ordinanza N. 3431/2005**

### **Allegato 2**

**Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici**

### **Capitolo 11**

**Edifici esistenti**



## 11.1 Generalità

*Gli edifici esistenti si distinguono da quelli di nuova progettazione per gli aspetti seguenti:*

- *Il progetto riflette lo stato delle conoscenze al tempo della loro costruzione;*
- *Il progetto può contenere difetti di impostazione concettuale e di realizzazione non evidenziabili.*

*Tali edifici possono essere stati soggetti a terremoti passati o ad altre azioni accidentali i cui effetti non sono manifesti.*



## 11.1 Generalità

.....

*Di conseguenza la valutazione della sicurezza ed il progetto degli interventi sono normalmente affetti da un grado di incertezza diverso da quello degli edifici di nuova progettazione.*

*Ciò comporta l'impiego di adeguati fattori di confidenza nelle verifiche di sicurezza come pure metodi di analisi e di verifica dipendenti dalla completezza e dall'affidabilità dell'informazione disponibile.*



## Fattori di Confidenza

*I fattori di confidenza servono a un duplice scopo:*

*a) per definire le resistenze dei materiali da utilizzare nelle formule di capacità degli elementi duttili e fragili. Le resistenze medie, ottenute dalle prove in situ e dalle informazioni aggiuntive, sono divise per i fattori di confidenza;*

*b) per definire le sollecitazioni trasmesse dagli elementi duttili a quelli fragili. A tale scopo, le resistenze medie degli elementi duttili, ottenute dalle prove in situ e dalle informazioni aggiuntive, sono moltiplicate per i fattori di confidenza.*



### 11.2.3.3 Livelli di conoscenza

*Ai fini della scelta del tipo di analisi e dei valori dei coefficienti parziali di sicurezza vengono definiti 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,*
- *dettagli strutturali,*
- *materiali.*



## **Valori dei Fattori di Confidenza**

<b>Livello di conoscenza</b>	<b>Fattore di confidenza</b>
<b>LC1: Conoscenza Limitata</b>	<b>1.35</b>
<b>LC2: Conoscenza Adeguata</b>	<b>1.20</b>
<b>LC3: Conoscenza Accurata</b>	<b>1.00</b>



### Prove sui materiali: verifiche in situ

<b>Verifiche <u>limitate</u></b>	<b>1 provino di calcestruzzo per 300 m<sup>2</sup> di piano dell'edificio, 1 campione d'armatura per piano dell'edificio</b>
<b>Verifiche <u>estese</u></b>	<b>2 provini di calcestruzzo per 300 m<sup>2</sup> di piano dell'edificio, 2 campioni d'armatura per piano dell'edificio</b>
<b>Verifiche <u>esaustive</u></b>	<b>3 provini di calcestruzzo per 300 m<sup>2</sup> di piano dell'edificio, 3 campioni d'armatura per piano dell'edificio</b>

**Per ogni tipo di elemento "primario" (trave, pilastro...)**





**Rilievo dei dettagli costruttivi**

<b>Verifiche <u>limitate</u></b>	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 15% degli elementi.
<b>Verifiche <u>estese</u></b>	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 35% degli elementi.
<b>Verifiche <u>esaustive</u></b>	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 50% degli elementi.

Per ogni tipo di elemento "primario" (trave, pilastro...)



**AIPnD**

Associazione Italiana Prove non Distruttive  
Monitoraggio Diagnostica

[www.aipnd.it](http://www.aipnd.it)



**LaRM**

Laboratorio Resistenza Materiali

[www.larm.ing.unibo.it](http://www.larm.ing.unibo.it)

