

*ing. angelo  
biondi*



# **Livelli di Conoscenza e Prove sui Materiali**

[www.angelobiondi.com](http://www.angelobiondi.com)

## VERIFICA DEGLI EDIFICI ESISTENTI

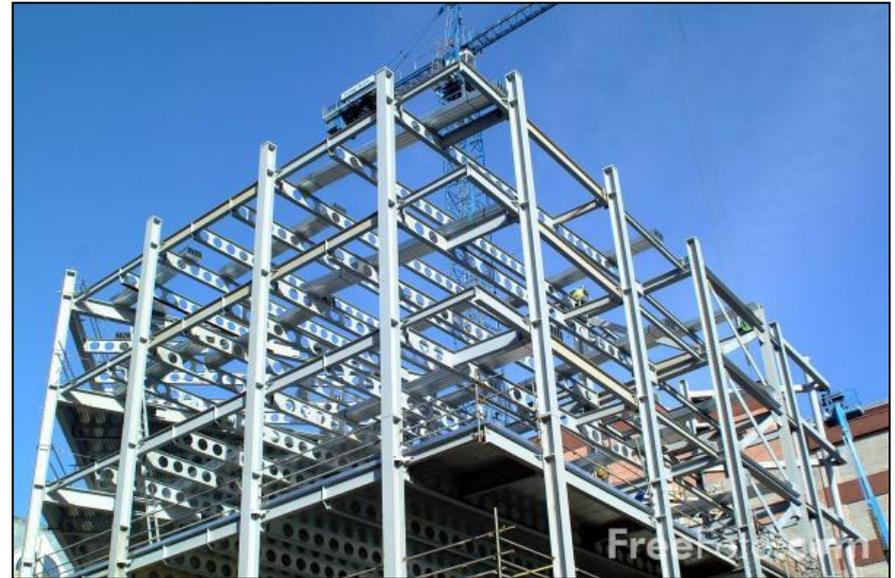
L'*analisi* Pushover è in pratica la via obbligata nel caso di verifiche di edifici esistenti progettati solo per i carichi verticali, in questo caso una verifica elastica risulta troppo penalizzante e di scarso interesse tecnico, solo *un'analisi* non lineare è in grado di valutare in maniera realistica il grado di sicurezza della struttura nei confronti del sisma



## ***DATI NECESSARI PER LA VALUTAZIONE***

<b>fonti</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• documenti di progetto</li><li>• documentazione successiva al progetto</li><li>• rilievo strutturale</li><li>• prove in-situ e laboratorio</li></ul>
<b>Dati richiesti</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• identificazione organismo strutturale e valutazione regolarità</li><li>• identificazione fondazione</li><li>• categoria suolo</li><li>• dati geometrici elementi strutturali, armature, materiali, collegamenti</li><li>• difetti in particolari costruttivi (eccentricità, armature, collegamenti)</li><li>• <i>normativa dell'epoca e fattore q adottato (se possibile)</i></li><li>• <i>destinazione d'uso e fattore di importanza</i></li><li>• <i>rivalutazione carichi variabili in funzione della destinazione d'uso</i></li><li>• valutazione eventuali danni subiti in precedenza</li></ul>

# **VERIFICA DI EDIFICI ESISTENTI IN C.A. ED IN ACCIAIO**



## LIVELLI DI CONOSCENZA (C.A. E ACCIAIO)

**Tabella C8.5.IV** – 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	Geometrie (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC (*)
LC1	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione; in alternativa rilievo completo ex-novo	Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e <i>indagini limitate</i> in situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e <i>prove limitate</i> in situ	Analisi lineare statica o dinamica	1,35
LC2		Elaborati progettuali incompleti con <i>indagini limitate</i> in situ; in alternativa <i>indagini estese</i> in situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali, con <i>prove limitate</i> in situ; in alternativa da <i>prove estese</i> in situ	Tutti	1,20
LC3		Elaborati progettuali completi con <i>indagini limitate</i> in situ; in alternativa <i>indagini esaustive</i> in situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto, con <i>prove estese</i> in situ; in alternativa da <i>prove esaustive</i> in situ	Tutti	1,00



## LIVELLI DI CONOSCENZA (C.A. E ACCIAIO)

### Livelli di Conoscenza

*Gli aspetti che definiscono i livelli di conoscenza sono:*

- **geometria**, ossia le caratteristiche geometriche degli elementi strutturali;
- **dettagli strutturali**, ossia 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.

## LC1: Conoscenza limitata

**Geometria:** la geometria della struttura è nota o in base a un rilievo o dai disegni originali. In quest'ultimo caso viene effettuato un rilievo visivo a campione per verificare l'effettiva corrispondenza del costruito ai disegni. I dati raccolti sulle dimensioni degli elementi strutturali saranno tali da consentire la messa a punto di un modello strutturale idoneo ad un'analisi lineare.

**Dettagli costruttivi:** i dettagli non sono disponibili da disegni costruttivi e sono ricavati sulla base di un progetto simulato eseguito secondo la pratica dell'epoca della costruzione. È richiesta una limitata verifica in-situ delle armature e dei collegamenti presenti negli elementi più importanti. I dati raccolti saranno tali da consentire verifiche locali di resistenza.

**Proprietà dei materiali:** non sono disponibili informazioni sulle caratteristiche meccaniche dei materiali, né da disegni costruttivi né da certificati di prova. Si adottano valori usuali della pratica costruttiva dell'epoca convalidati da limitate prove in-situ sugli elementi più importanti.

## LC2: Conoscenza adeguata

**Geometria:** la geometria della struttura è nota o in base a un **rilievo** o dai **disegni originali**. In *quest'ultimo* caso viene effettuato un **rilievo visivo a campione** per verificare *l'effettiva* corrispondenza del costruito ai disegni. I dati raccolti sulle dimensioni degli elementi strutturali, insieme a quelli riguardanti i dettagli strutturali, saranno tali da consentire la messa a punto di un modello strutturale idoneo ad *un'analisi* lineare o non lineare.

**Dettagli costruttivi:** i dettagli sono noti da **un'estesa verifica in-situ** oppure parzialmente noti dai **disegni costruttivi originali incompleti**. In *quest'ultimo* caso viene effettuata una limitata verifica in situ delle armature e dei collegamenti presenti negli elementi più importanti. I dati raccolti saranno tali da consentire, nel caso si esegua *un'analisi* lineare, verifiche locali di resistenza, oppure la messa a punto di un modello strutturale non lineare.

**Proprietà dei materiali:** informazioni sulle caratteristiche meccaniche dei materiali sono disponibili in base ai **disegni costruttivi o ai certificati originali di prova, o da estese verifiche in-situ**. Nel primo caso sono anche eseguite limitate prove in-situ; se i valori ottenuti dalle prove in-situ sono minori di quelli disponibili dai disegni o dai certificati originali, sono eseguite estese prove in-situ. I dati raccolti saranno tali da consentire, nel caso si esegua *un'analisi* lineare, verifiche locali di resistenza, oppure la messa a punto di un modello strutturale non lineare.

### LC3: Conoscenza accurata

**Geometria:** la geometria della struttura è nota o in base a [un rilievo o dai disegni originali](#). In *quest'ultimo* caso è effettuato un [rilievo visivo a campione](#) per verificare *l'effettiva* corrispondenza del costruito ai disegni. I dati raccolti sulle dimensioni degli elementi strutturali, insieme a quelli riguardanti i dettagli strutturali, saranno tali da consentire la messa a punto di un modello strutturale idoneo ad *un'analisi* lineare o non lineare.

**Dettagli costruttivi:** i dettagli sono noti o da [un'esaustiva verifica in-situ oppure dai disegni costruttivi originali](#). In *quest'ultimo* caso è effettuata una limitata verifica in-situ delle armature e dei collegamenti presenti negli elementi più importanti. I dati raccolti saranno tali da consentire, nel caso si esegua *un'analisi* lineare, verifiche locali di resistenza, oppure la messa a punto di un modello strutturale non lineare.

**Proprietà dei materiali:** informazioni sulle caratteristiche meccaniche dei materiali sono disponibili in base ai [disegni costruttivi o ai certificati originali, o da esaustive verifiche in-situ](#). Nel primo caso sono anche eseguite estese prove in-situ; se i valori ottenuti dalle prove in-situ sono minori di quelli disponibili dai disegni o dai certificati originali, sono eseguite esaustive prove in-situ. I dati raccolti saranno tali da consentire, nel caso si esegua *un'analisi* lineare, verifiche locali di resistenza, oppure la messa a punto di un modello strutturale non lineare.

## LIVELLI DI CONOSCENZA

### **Strutture in c.a. e in acciaio – *Dettagli Costruttivi***

**Progetto simulato:** serve, in mancanza dei disegni costruttivi originali, a definire la quantità e la disposizione dell'armatura in tutti gli elementi con funzione strutturale o le caratteristiche dei collegamenti. E' eseguito sulla base delle norme tecniche in vigore e della pratica costruttiva caratteristica all'epoca della costruzione.

**Verifiche in-situ limitate:** servono per verificare la corrispondenza tra le armature o le caratteristiche dei collegamenti effettivamente presenti e quelle riportate nei disegni costruttivi, oppure ottenute mediante il progetto simulato.

**Verifiche in-situ estese:** servono quando non sono disponibili i disegni costruttivi originali come alternativa al progetto simulato seguito da verifiche limitate, oppure quando i disegni costruttivi originali sono incompleti.

**Verifiche in-situ esaustive:** servono quando non sono disponibili i disegni costruttivi originali e si desidera un livello di conoscenza accurata (LC3).



## LIVELLI DI CONOSCENZA

### Strutture in c.a. e in acciaio – **Proprietà dei Materiali**

**Calcestruzzo:** la misura delle caratteristiche meccaniche si ottiene mediante **estrazione di campioni ed esecuzione di prove di compressione fino a rottura.**

**Acciaio:** la misura delle caratteristiche meccaniche si ottiene mediante **estrazione di campioni ed esecuzione di prove a trazione fino a rottura con determinazione della resistenza a snervamento e della resistenza e deformazione ultima, salvo nel caso in cui siano disponibili certificati di prova di entità conforme a quanto richiesto per le nuove costruzioni, nella normativa dell'epoca.**

**Unioni di elementi in acciaio:** la misura delle caratteristiche meccaniche si ottiene mediante **estrazione di campioni ed esecuzione di prove a trazione fino a rottura con determinazione della resistenza a snervamento e della resistenza e deformazione ultima.**

## LIVELLI DI CONOSCENZA

### Strutture in c.a. e in acciaio – **Proprietà dei Materiali**

**Prove in-situ limitate:** servono a completare le informazioni sulle proprietà dei materiali ottenute o dalle normative in vigore all'epoca della costruzione, o dalle caratteristiche nominali riportate sui disegni costruttivi, o da certificati originali di prova.

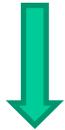
**Prove in-situ estese:** servono per ottenere informazioni in mancanza sia dei disegni costruttivi, che dei certificati originali di prova, oppure quando i valori ottenuti dalle prove limitate risultano inferiori a quelli riportati nei disegni o certificati originali.

**Prove in-situ esaustive:** servono per ottenere informazioni in mancanza sia dei disegni costruttivi, che dei certificati originali di prova, oppure quando i valori ottenuti dalle prove limitate risultano inferiori a quelli riportati nei disegni o certificati originali, e si desidera un livello di conoscenza accurata (LC3).

## **LIVELLI DI CONOSCENZA** *Strutture in c.a.*

### **Caratterizzazione del calcestruzzo**

#### **Prove distruttive**



Carotaggio e prove di compressione

#### **Prove non distruttive**



Metodo ultrasonico  
+  
Metodo sclerometrico

**(SONREB)**

# LIVELLI DI CONOSCENZA

## Strutture in c.a. – Prove distruttive



## LIVELLI DI CONOSCENZA

### Strutture in c.a. – Prove non distruttive



Indagini Sclerometriche



Indagini Ultrasoniche

### METODO SONREB

**SONic + REB**ound, ovvero **SONREB**, è il metodo che combina due prove non distruttive per calcestruzzo attualmente più utilizzato.

E' costituito dall'accoppiamento dell'*indagine ultrasonica* e dell'*indagine sclerometrica*, ovvero nella combinazione dei risultati ottenuti con tali due prove sullo stesso elemento di calcestruzzo.

## LIVELLI DI CONOSCENZA

### Strutture in c.a.

**Metodi di prova non distruttivi:** Sono ammessi metodi di indagine non distruttiva di documentata affidabilità, che non possono essere impiegati in completa sostituzione di quelli sopra descritti, ma sono consigliati a loro integrazione, purché i risultati siano tarati su quelli ottenuti con prove distruttive. Nel caso del calcestruzzo, è importante adottare metodi di prova che limitino l'influenza della carbonatazione degli strati superficiali sui valori di resistenza.



## LIVELLI DI CONOSCENZA

### Strutture in c.a.

Nelle note esplicative alla Tabella C8A.1.3 (a,b) si specifica che:

Le percentuali di elementi da verificare ed il numero di provini da estrarre e sottoporre a prove di resistenza riportati nella tabella C8A.1.3 hanno valore indicativo e vanno adattati ai singoli casi, tenendo conto dei seguenti aspetti:

(a) “Nel controllo del **raggiungimento delle percentuali di elementi indagati ai fini del rilievo dei dettagli costruttivi** si tiene conto delle eventuali **situazioni ripetitive** che consentano di **estendere ad una più ampia percentuale i controlli effettuati** su alcuni elementi strutturali facenti parte di una serie con evidenti caratteristiche di ripetibilità per uguale geometria e ruolo nello schema strutturale.”

..... *Omissis*.....

(c) “**Ai fini delle prove sui materiali è consentito sostituire alcune prove distruttive, non più del 50%, con un più ampio numero, almeno il triplo, di prove non distruttive, singole o combinate tarate su quelle *distruttive***”



# LIVELLI DI CONOSCENZA

## Strutture in c.a. ed in acciaio

**Tabella C8.5.V – Definizione orientativa dei livelli di rilievo e prova per edifici di c.a.**

Livello di Indagini e Prove	Rilievo (dei dettagli costruttivi) <sup>(a)</sup>	Prove (sui materiali) <sup>(b)(c)(d)</sup>
	Per ogni elemento “primario” (trave, pilastro)	
<i>limitato</i>	La quantità e disposizione dell’armatura è verificata per almeno il 15% degli elementi	1 provino di cls. per 300 m <sup>2</sup> di piano dell’edificio, 1 campione di armatura per piano dell’edificio
<i>esteso</i>	La quantità e disposizione dell’armatura è verificata per almeno il 35% degli elementi	2 provini di cls. per 300 m <sup>2</sup> di piano dell’edificio, 2 campioni di armatura per piano dell’edificio
<i>esaustivo</i>	La quantità e disposizione dell’armatura è verificata per almeno il 50% degli elementi	3 provini di cls. per 300 m <sup>2</sup> di piano dell’edificio, 3 campioni di armatura per piano dell’edificio

**Tabella C8.5.VI – Definizione orientativa dei livelli di rilievo e prova per edifici di acciaio**

Livello di Indagini e Prove	Rilievo (dei collegamenti) <sup>(a)</sup>	Prove (sui materiali) <sup>(b)(c)(d)</sup>
	Per ogni elemento “primario” (trave, pilastro...)	
<i>limitato</i>	Le caratteristiche dei collegamenti sono verificate per almeno il 15% degli elementi	1 provino di acciaio per piano dell’edificio, 1 campione di bullone o chiodo per piano dell’edificio
<i>esteso</i>	Le caratteristiche dei collegamenti sono verificate per almeno il 35% degli elementi	2 provini di acciaio per piano dell’edificio, 2 campioni di bullone o chiodo per piano dell’edificio
<i>esaustivo</i>	Le caratteristiche dei collegamenti sono verificate per almeno il 50% degli elementi	3 provini di acciaio per piano dell’edificio, 3 campioni di bullone o chiodo per piano dell’edificio

## **PROVE SUI MATERIALI** **Strutture in C.A.**



Indagine Pacometrica

# **PROVE SUI MATERIALI Strutture in C.A.**



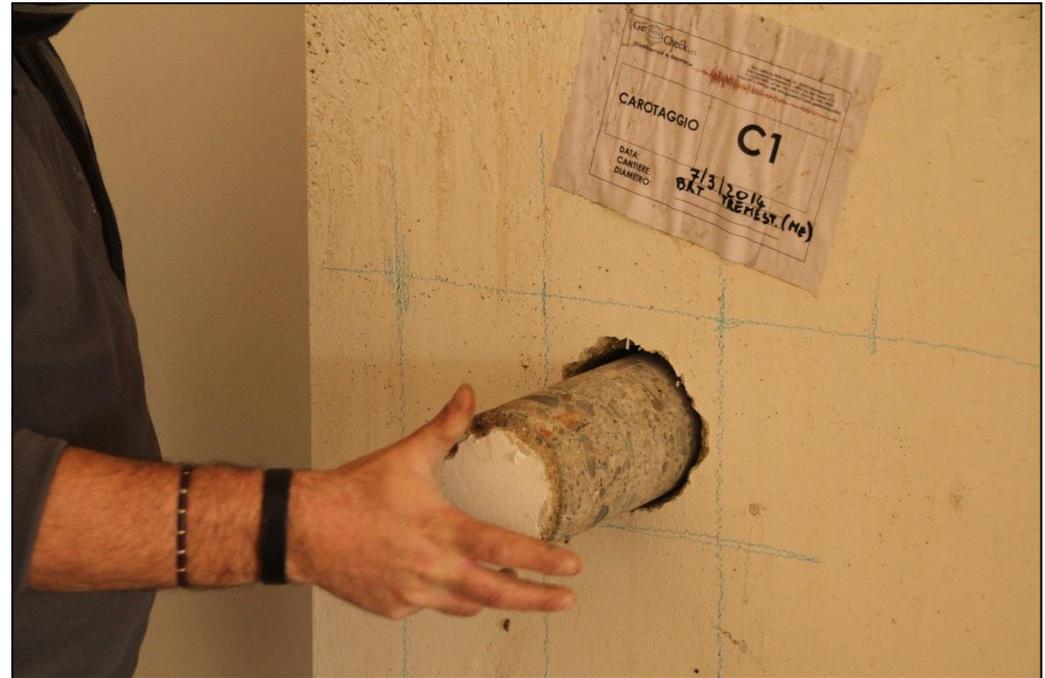
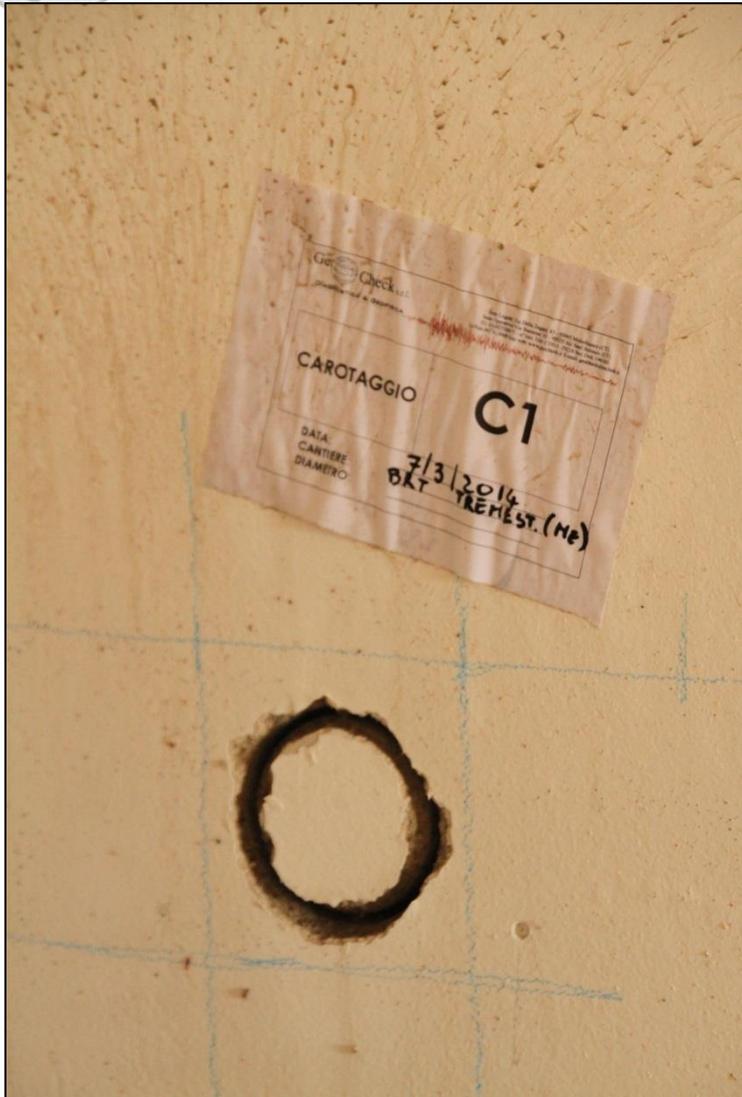
## **PROVE SUI MATERIALI Strutture in C.A.**



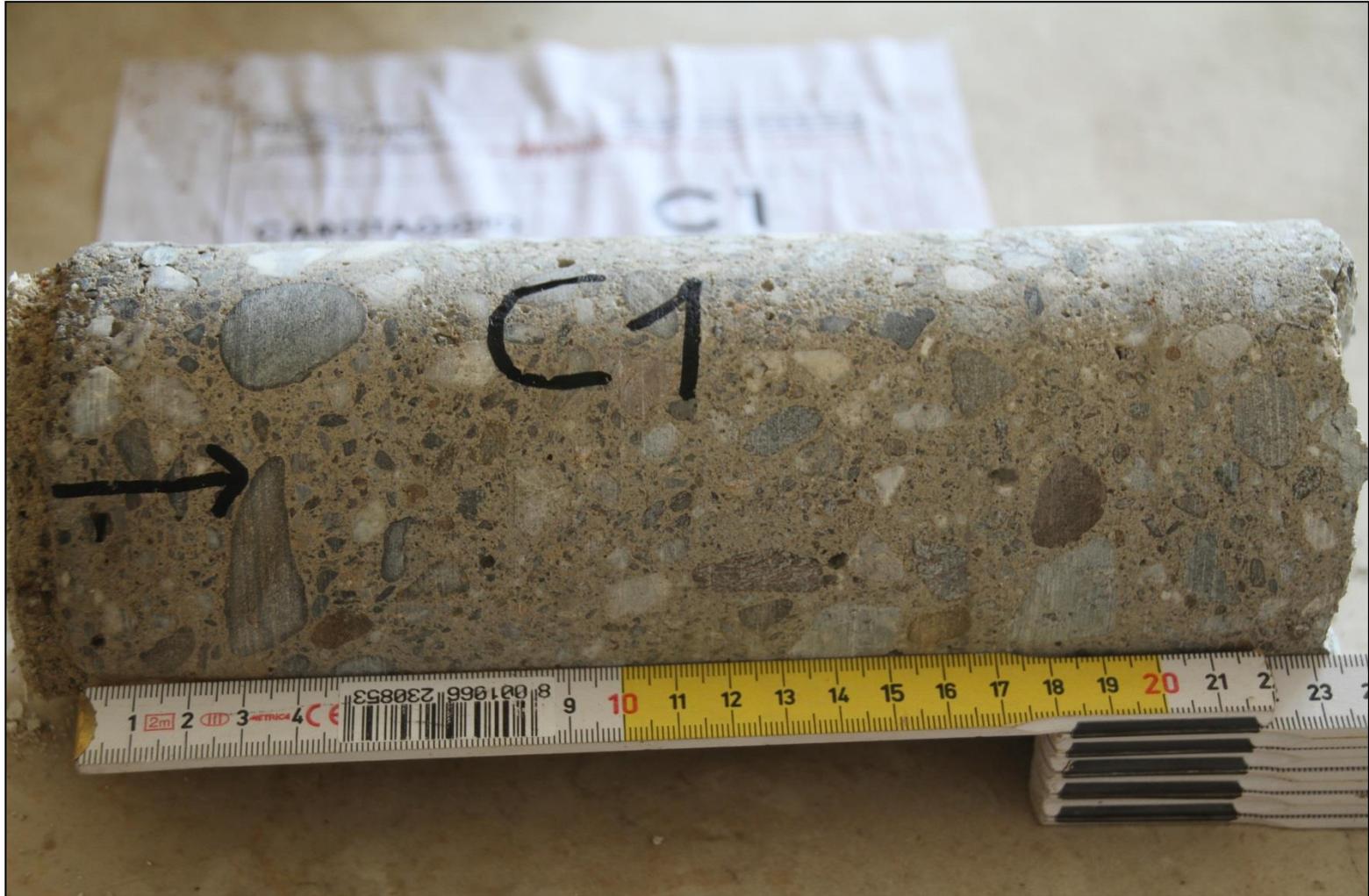
## **PROVE SUI MATERIALI Strutture in C.A.**



# PROVE SUI MATERIALI Strutture in C.A.



# PROVE SUI MATERIALI Strutture in C.A.



## PROVE SUI MATERIALI Strutture in C.A.



Test di carbonatazione del calcestruzzo

# **PROVE SUI MATERIALI**

## **Strutture in C.A.**



# **PROVE SUI MATERIALI** **Strutture in C.A.**



# **PROVE SUI MATERIALI Strutture in C.A.**

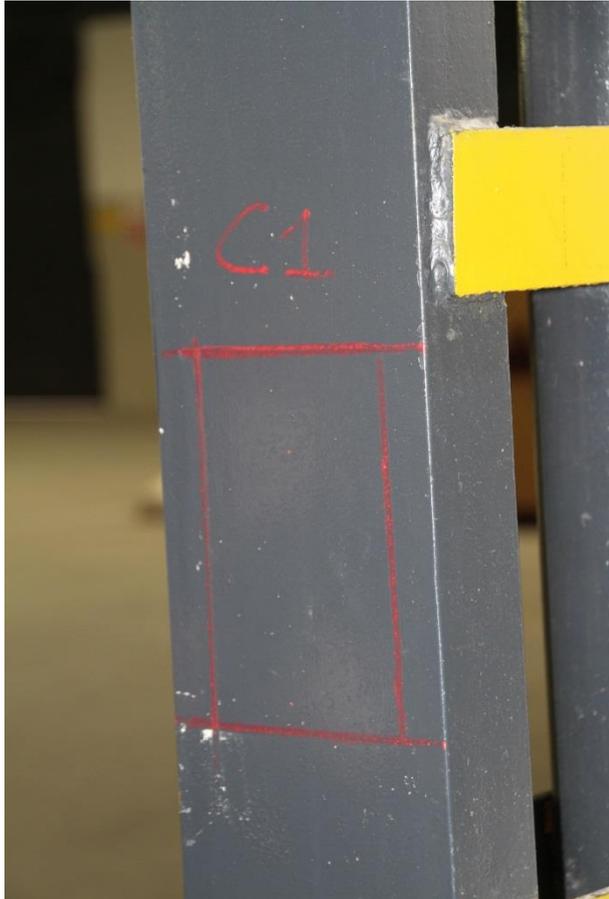


# PROVE SUI MATERIALI Strutture in C.A.



# **PROVE SUI MATERIALI**

## **Strutture in acciaio**



# PROVE SUI MATERIALI

## Strutture in acciaio



# **PROVE SUI MATERIALI**

## ***Strutture in acciaio***



# **PROVE SUI MATERIALI**

## ***Strutture in acciaio***



# **VERIFICA DI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA**



## LIVELLI DI CONOSCENZA (MURATURA)

conoscenza		Geometria (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà materiali	Metodi di analisi	FC
<b>LC1</b>	limitata	Da rilievo strutturale	Limitate verifiche in situ	Limitate indagini in situ	tutti	1.35
<b>LC2</b>	adeguata		Estese ed esaustive verifiche in situ	Estese indagini in situ		1.20
<b>LC3</b>	accurata			Esaustive indagini in situ		1.00

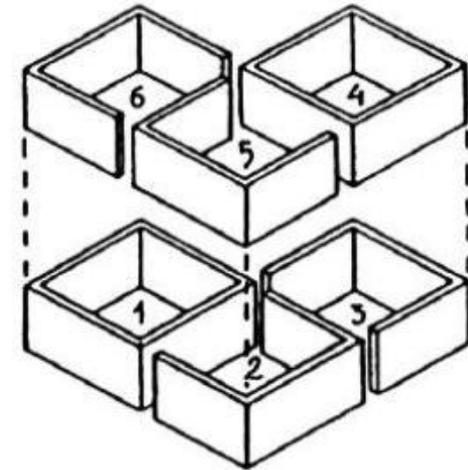
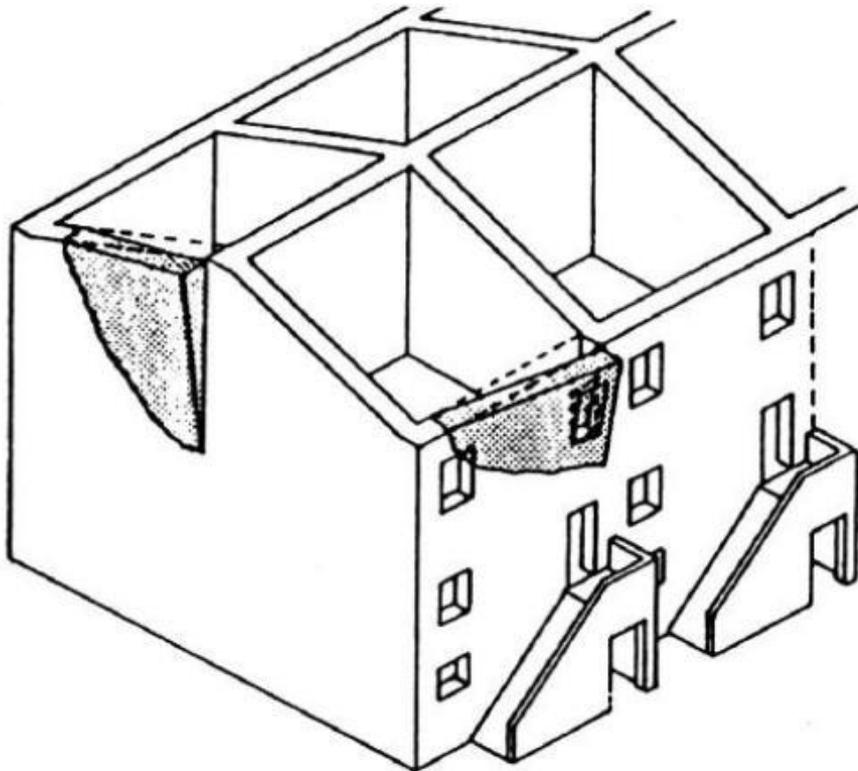
## LIVELLI DI CONOSCENZA (MURATURA)



# STRUTTURE IN MURATURA

- EDIFICI ESISTENTI: Analisi Storico-Critica -

L'individuazione dell'origine e delle possibili evoluzioni delle problematiche strutturali dell'edificio, e più in generale il comportamento dell'edificio, sono strettamente legati anche alla **successione delle fasi costruttive**.



1.....cellula originaria  
2,3...aggregazioni  
4.....prima sopraelevazione  
5,6...sopraelevazioni successive

# STRUTTURE IN MURATURA

- EDIFICI ESISTENTI: *Analisi Storico-Critica* -

*L'individuazione dell'origine e delle possibili evoluzioni delle problematiche strutturali dell'edificio, e più in generale il comportamento dell'edificio, sono strettamente legati anche alla **successione delle fasi costruttive.***



# STRUTTURE IN MURATURA

- EDIFICI ESISTENTI: *Analisi Storico-Critica* -

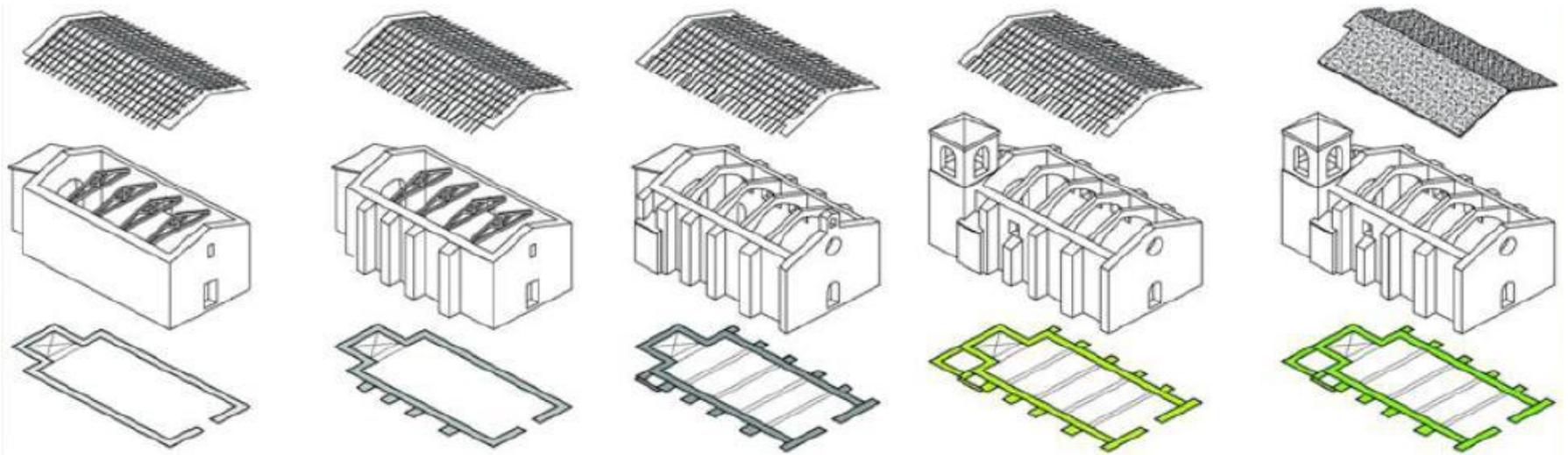
L'individuazione dell'origine e delle possibili evoluzioni delle problematiche strutturali dell'edificio, e più in generale il comportamento dell'edificio, sono strettamente legati anche alla **successione delle fasi costruttive**.



# STRUTTURE IN MURATURA

- EDIFICI ESISTENTI: *Analisi Storico-Critica* -

Inoltre talvolta la **storia sismica** diviene strumento di comprensione della **storia edilizia**.



# STRUTTURE IN MURATURA

## - EDIFICI ESISTENTI: Rilievo -

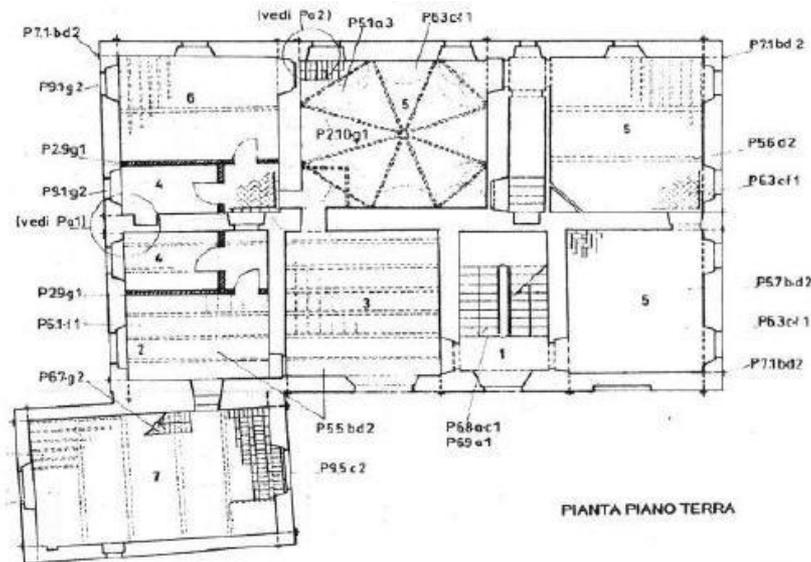
Il rilievo geometrico-strutturale dovrà essere riferito:

- *Alla geometria complessiva dell'organismo*
- Alla geometria degli elementi costruttivi (Comprendendo i rapporti con le eventuali strutture in aderenza)

Il rilievo deve individuare:

- *L'organismo resistente* della costruzione
- La qualità e lo **stato di conservazione** dei **materiali** e degli elementi costitutivi

Dovranno essere rilevati i **dissesti**, *in atto o stabilizzati*, con attenzione all'**individuazione dei quadri fessurativi** e dei **meccanismi di danno**.

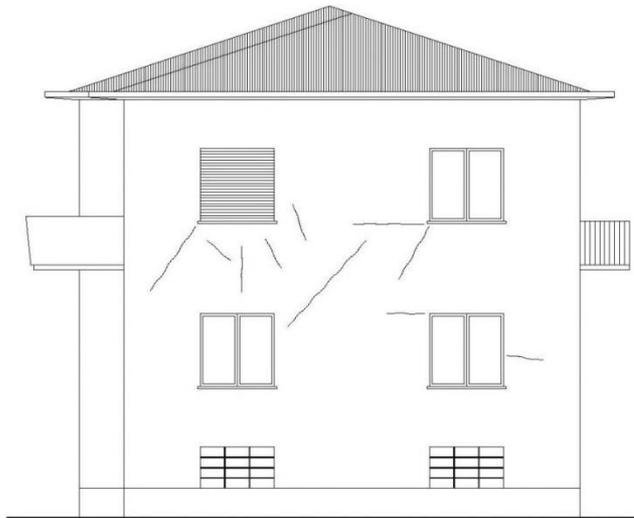


# STRUTTURE IN MURATURA

## - EDIFICI ESISTENTI: Rilievo -

Il rilievo geometrico-strutturale consiste anche nel rilievo del:

- **quadro fessurativo**, classificando possibilmente ciascuna lesione secondo la tipologia del meccanismo associato (distacco, rotazione, scorrimento, spostamenti fuori del piano, etc.);
- **quadro deformativo** (evidenti fuori piombo, rigonfiamenti, depressioni nelle volte, etc.).



Quadro fessurativo



Fuori piombo

# STRUTTURE IN MURATURA

- EDIFICI ESISTENTI: Rilievo geometrico-strutturale -

Consiste nel rilievo geometrico per ogni piano di:

- tutti gli elementi in muratura incluse eventuali **nicchie**, **cavità**, **canne fumarie**;
- delle **volte** (spessore e profilo);
- dei **solai** e della copertura (tipologia e orditura);
- delle **scale** (tipologia strutturale);
- individuazione dei **carichi** gravanti su ogni elemento di parete e la tipologia delle fondazioni.



# STRUTTURE IN MURATURA

- EDIFICI ESISTENTI: Rilievo geometrico-strutturale -

- **quadro fessurativo**, classificando possibilmente ciascuna lesione secondo la tipologia del meccanismo associato (distacco, rotazione, scorrimento, spostamenti fuori del piano, etc.);
- **quadro deformativo** (evidenti fuori piombo, rigonfiamenti, depressioni nelle volte, etc.).



# STRUTTURE IN MURATURA

## - EDIFICI ESISTENTI: Caratterizzazione Meccanica dei Materiali -

La caratterizzazione meccanica dei materiali dovrà essere basata sui seguenti punti:

- Documentazione già disponibile
- Verifiche visive in situ
- Indagini sperimentali.



# STRUTTURE IN MURATURA

## - EDIFICI ESISTENTI: Caratterizzazione Meccanica dei Materiali -

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, dovrà esserne considerato **l'impatto in termini di conservazione del bene**.



## STRUTTURE IN MURATURA

- EDIFICI ESISTENTI: Caratterizzazione Meccanica dei Materiali -

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, dovrà esserne considerato **l'impatto in termini di conservazione del bene**.



Martinetto piatto doppio



Penetrometro

# STRUTTURE IN MURATURA

- EDIFICI ESISTENTI: Caratterizzazione Meccanica dei Materiali -

## Prove con n.1 martinetto piatto

La misura della **tensione di esercizio** della muratura, è effettuata con martinetto piatto oleodinamico sulla base della variazione dello stato deformativo di una parte della struttura per effetto di un taglio piano eseguito in direzione normale alla superficie della muratura.

La variazione dello stato tensionale determina una certa chiusura del taglio rilevata attraverso misure di convergenza fra coppie di punti in posizione simmetrica rispetto al taglio stesso. Un martinetto piatto viene inserito all'interno del taglio e portato gradualmente in pressione fino ad annullare la convergenza in precedenza misurata. In queste condizioni **la pressione all'interno del martinetto è pari alla sollecitazione preesistente nella parte di muratura** in esame a meno di una costante ( $K_a$ ) che tiene conto del rapporto tra l'area reagente del martinetto (pari al prodotto *dell'area* del martinetto per una costante  $K_m$ , caratteristica del martinetto, che tiene conto della rigidità del bordo di saldatura) e quella del taglio.



Martinetto piatto singolo

# STRUTTURE IN MURATURA

- EDIFICI ESISTENTI: Caratterizzazione Meccanica dei Materiali -

## Prove con n.2 martinetti piatti

Per la determinazione del **modulo di elasticità** e la valutazione delle caratteristiche di **resistenza meccanica** viene eseguito un secondo taglio parallelo al primo a distanza di circa 50-60 cm nel quale viene introdotto un secondo martinetto piatto.

La parte di muratura compresa tra i due tagli, adeguatamente strumentata, è sottoposta a prova di compressione in sito eseguendo più cicli di carico-scarico.



Martinetto piatto doppio

# **STRUTTURE IN MURATURA**

**- EDIFICI ESISTENTI: Caratterizzazione Meccanica dei Materiali -**



*Preparazione della parete per l'inserimento dei martinetti*

# STRUTTURE IN MURATURA

- EDIFICI ESISTENTI: Caratterizzazione Meccanica dei Materiali -



*Preparazione della parete per l'inserimento dei martinetti*

# **STRUTTURE IN MURATURA**

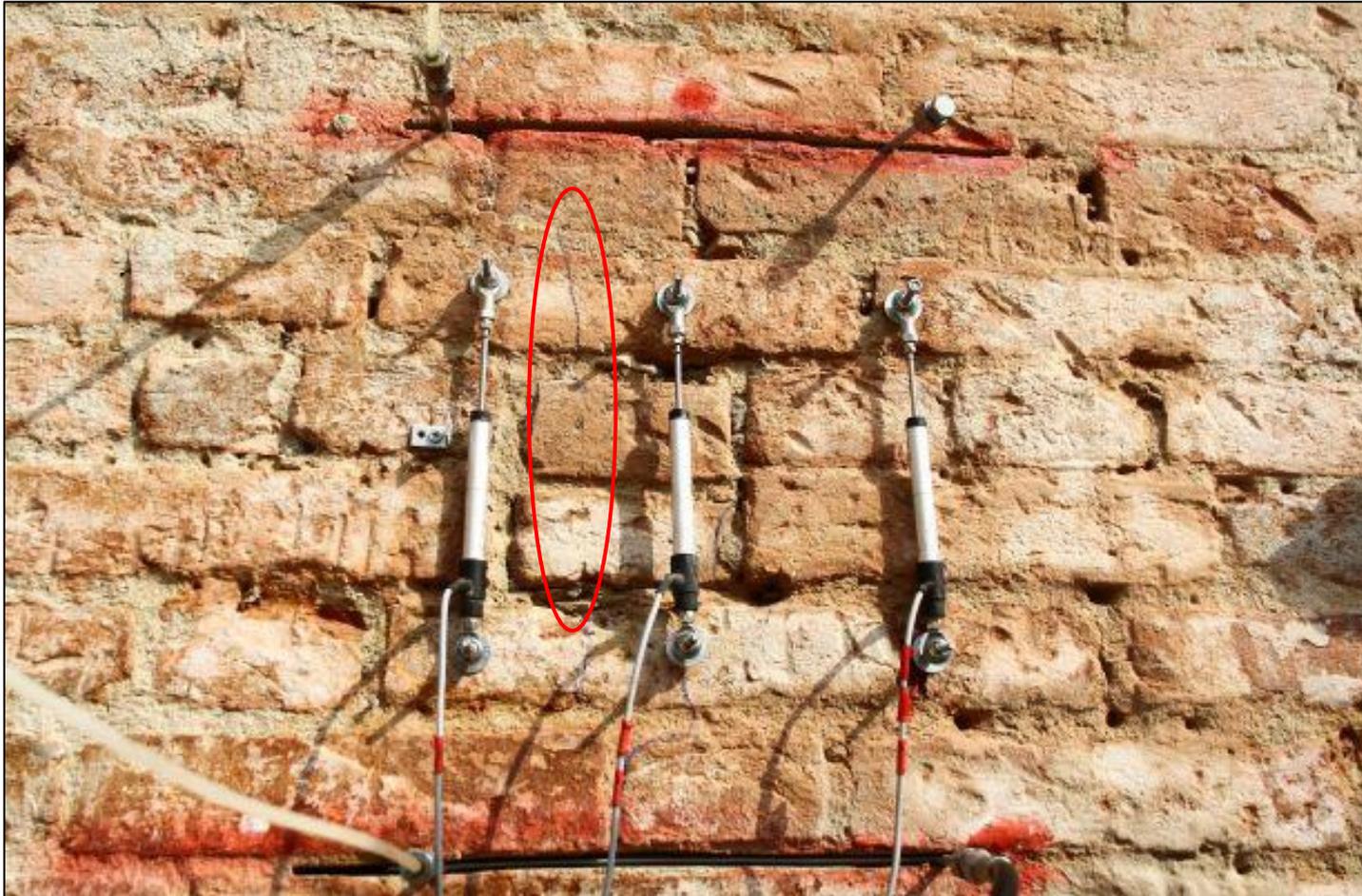
**- EDIFICI ESISTENTI: Caratterizzazione Meccanica dei Materiali -**



*Preparazione della parete per l'inserimento dei martinetti*

# STRUTTURE IN MURATURA

- EDIFICI ESISTENTI: Caratterizzazione Meccanica dei Materiali -



*Preparazione della parete per l'inserimento dei martinetti*

# STRUTTURE IN MURATURA

- EDIFICI ESISTENTI: *Caratterizzazione Meccanica dei Materiali* -



Prova con martinetti piatti su muratura a sacco.

# STRUTTURE IN MURATURA

- EDIFICI ESISTENTI: Caratterizzazione Meccanica dei Materiali -

Tabella C.8A.2.1 delle N.T.C. 2008

Tipologia di muratura	$f_m$	$\tau_0$	E	G	w
	(N/cm <sup>2</sup> )	(N/cm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )
	Min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100	2,0	690	230	19
	180	3,2	1050	350	
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200	3,5	1020	340	20
	300	5,1	1440	480	
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260	5,6	1500	500	21
	380	7,4	1980	660	
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	140	2,8	900	300	16
	240	4,2	1260	420	
Muratura a blocchi lapidei squadrati	600	9,0	2400	780	22
	800	12,0	3200	940	
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240	6,0	1200	400	18
	400	9,2	1800	600	
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura $\leq 40\%$ )	500	24	3500	875	15
	800	32	5600	1400	
Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc. foratura < 45%)	400	30,0	3600	1080	12
	600	40,0	5400	1620	
Muratura in blocchi laterizi semipieni, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%)	300	10,0	2700	810	11
	400	13,0	3600	1080	
Muratura in blocchi di calcestruzzo o argilla espansa (perc. foratura tra 45% e 65%)	150	9,5	1200	300	12
	200	12,5	1600	400	
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni (foratura < 45%)	300	18,0	2400	600	14
	440	24,0	3520	880	

## LIVELLI DI CONOSCENZA (MURATURA)

Conoscenza		Proprietà materiali
<b>LC1</b>	limitata	<b>Resistenza:</b> valore minimo di Tabella C8A.2.1 <b>Modulo elastico:</b> valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1
<b>LC2</b>	adeguata	<b>Resistenza:</b> valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1 <b>Modulo elastico:</b> media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1
<b>LC3</b>	accurata	<p>-caso a) (disponibili 3 o più valori sperimentali di resistenza) <b>Resistenza:</b> media dei risultati delle prove <b>Modulo elastico:</b> media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1</p> <p>-caso b) (disponibili 2 valori sperimentali di resistenza) <b>Resistenza:</b> se valore medio sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8A.2.1, valore medio <i>dell'intervallo</i> di Tabella C8A.2.1; se valore medio sperimentale maggiore di estremo superiore intervallo, <i>quest'ultimo</i>; se valore medio sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore medio sperimentale. <b>Modulo elastico:</b> come LC3 – caso a).</p> <p>-caso c) (disponibile 1 valore sperimentale di resistenza) <b>Resistenza:</b> 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. <b>Modulo elastico:</b> come LC3 – caso a).</p>

## STRUTTURE IN MURATURA

### - EDIFICI ESISTENTI: Caratterizzazione Meccanica dei Materiali -

Tabella C8A.2.2 - Coefficienti correttivi dei parametri meccanici (indicati in Tabella C8A.2.1) da applicarsi in presenza di: malta di caratteristiche buone o ottime; giunti sottili; ricorsi o listature; sistematiche connessioni trasversali; nucleo interno particolarmente scadente e/o ampio; consolidamento con iniezioni di malta; consolidamento con intonaco armato.

Tipologia di muratura	Malta buona	Giunti sottili (<10 mm)	Ricorsi o listature	Connessioni trasversale	Nucleo scadente e/o ampio	Iniezione di miscele leganti	Intonaco armato *
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	-	1,3	1,5	0,9	2	2,5
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e	1,4	1,2	1,2	1,5	0,8	1,7	2
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	-	1,1	1,3	0,8	1,5	1,5
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,5	1,5	-	1,5	0,9	1,7	2
Muratura a blocchi lapidei squadrati	1,2	1,2	-	1,2	0,7	1,2	1,2
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1,5	1,5	-	1,3	0,7	1,5	1,5

\* Valori da ridurre convenientemente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm).

# STRUTTURE IN MURATURA

- EDIFICI ESISTENTI: Caratterizzazione Meccanica dei Materiali -

Tabella C.8.5.I delle N.T.C. 2018

Tipologia di muratura	f (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_0$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{v0}$ (N/mm <sup>2</sup> )	E (N/mm <sup>2</sup> )	G (N/mm <sup>2</sup> )	w (kN/m <sup>3</sup> )
	min-max	min-max		min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,0-2,0	0,018-0,032	- -	690-1050	230-350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo (*)	2,0	0,035-0,051	- -	1020-1440	340-480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	2,6-3,8	0,056-0,074	- -	1500-1980	500-660	21
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,4-2,2	0,028-0,042	- -	900-1260	300-420	13 ÷ 16(**)
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,) (**)	2,0-3,2	0,04-0,08	0,10-0,19	1200-1620	400-500	
Muratura a blocchi lapidei squadrati	5,8-8,2	0,09-0,12	0,18-0,28	2400-3300	800-1100	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce (***)	2,6-4,3	0,05-0,13	0,13-0,27	1200-1800	400-600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%)	5,0-8,0	0,08-0,17	0,20-0,36	3500-5600	875-1400	15

Nel caso di murature di blocchi artificiali di tecnologia moderna, i parametri da utilizzare per le verifiche possono essere derivati dalle indicazioni per la progettazione di nuove costruzioni in muratura (§11.10 delle NTC).

# STRUTTURE IN MURATURA

## - EDIFICI ESISTENTI: Caratterizzazione Meccanica dei Materiali -

**Tabella C8.5.II** -Coefficienti correttivi massimi da applicarsi in presenza di: malta di caratteristiche buone; ricorsi o listature; sistematiche connessioni trasversali; consolidamento con iniezioni di malta; consolidamento con intonaco armato; ristilatura armata con connessione dei paramenti.

Tipologia di muratura	Stato di fatto			Interventi di consolidamento			
	Malta buona	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Iniezione di miscele leganti (*)	Intonacoarmato (**)	Ristilatura armata con connessione dei paramenti (**)	Massimo coefficiente complessivo
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	1,3	1,5	2	2,5	1,6	3,5
Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo	1,4	1,2	1,5	1,7	2,0	1,5	3,0
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	1,1	1,3	1,5	1,5	1,4	2,4
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,5	1,2	1,3	1,4	1,7	1,1	2,0
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,6	-	1,2	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura a blocchi lapidei squadrati	1,2	-	1,2	1,2	1,2	-	1,4
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	(***)	-	1,3 (****)	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%)	1,2	-	-	-	1,3	-	1,3

(\*) I coefficienti correttivi relativi alle iniezioni di miscele leganti devono essere commisurati all'effettivo beneficio apportato alla muratura, riscontrabile con verifiche sia nella fase di esecuzione (iniettabilità) sia a-posteriori (riscontri sperimentali attraverso prove soniche o similari).

(\*\*) Valori da ridurre convenientemente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm).

(\*\*\*) Nel caso di muratura di mattoni si intende come "malta buona" una malta con resistenza media a compressione  $f_m$  superiore a 2 N/mm<sup>2</sup>. In tal caso il coefficiente correttivo può essere posto pari a  $f_m^{0,35}$  ( $f_m$  in N/mm<sup>2</sup>).

(\*\*\*\*) Nel caso di muratura di mattoni si intende come muratura trasversalmente connessa quella apparecchiata a regola d'arte.

# STRUTTURE IN MURATURA

## - EDIFICI ESISTENTI: Caratterizzazione Meccanica dei Materiali -

Tabella C8.5.II - Coefficienti correttivi massimi da applicarsi in presenza di: malta di caratteristiche buone; ricorsi o listature; sistematiche connessioni trasversali; consolidamento con iniezioni di malta; consolidamento con intonaco armato; ristilatura armata con connessione dei paramenti.

Tipologia di muratura	Stato di fatto			Interventi di consolidamento			
	Malta buona	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Iniezione di miscele leganti (*)	Intonaco armato (**)	Ristilatura armata con connessione dei paramenti (**)	Massimo coefficiente complessivo
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	1,3	1,5	2	2,5	1,6	3,5
Muratura a conci sbazzati, con paramenti di spessore disomogeneo	1,4	1,2	1,5	1,7	2,0	1,5	3,0
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	1,1	1,3	1,5	1,5	1,4	2,4
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,5	1,2	1,3	1,4	1,7	1,1	2,0
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,6	-	1,2	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura a blocchi lapidei squadrati	1,2	-	1,2	1,2	1,2	-	1,4
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	(***)	-	1,3 (****)	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%)	1,2	-	-	-	1,3	-	1,3

(\*) I coefficienti correttivi relativi alle iniezioni di miscele leganti devono essere commisurati all'effettivo beneficio apportato alla muratura, riscontrabile con verifiche sia nella fase di esecuzione (iniettabilità) sia a-posteriori (riscontri sperimentali attraverso prove soniche o similari).

(\*\*) Valori da ridurre convenientemente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm).

(\*\*\*) Nel caso di muratura di mattoni si intende come "malta buona" una malta con resistenza media a compressione  $f_m$  superiore a 2 N/mm<sup>2</sup>. In tal caso il coefficiente correttivo può essere posto pari a  $f_m^{0,35}$  ( $f_m$  in N/mm<sup>2</sup>).

(\*\*\*\*) Nel caso di muratura di mattoni si intende come muratura trasversalmente connessa quella apparecchiata a regola d'arte.

Relativamente allo Stato di Fatto, i suddetti coefficienti migliorativi possono essere applicati in combinazione tra loro, in forma moltiplicativa, considerando la concomitanza al più dei due effetti che hanno i coefficienti moltiplicativi più alti.

# STRUTTURE IN MURATURA

## - EDIFICI ESISTENTI: Caratterizzazione Meccanica dei Materiali -

Tabella C8.5.II - Coefficienti correttivi massimi da applicarsi in presenza di: malta di caratteristiche buone; ricorsi o listature; sistematiche connessioni trasversali; consolidamento con iniezioni di malta; consolidamento con intonaco armato; ristilatura armata con connessione dei paramenti.

Tipologia di muratura	Stato di fatto			Interventi di consolidamento			
	Malta buona	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Iniezione di miscele leganti (*)	Intonacoarmato (**)	Ristilatura armata con connessione dei paramenti (**)	Massimo coefficiente complessivo
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	1,3	1,5	2	2,5	1,6	3,5
Muratura a conci sbazzati, con paramenti di spessore disomogeneo	1,4	1,2	1,5	1,7	2,0	1,5	3,0
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	1,1	1,3	1,5	1,5	1,4	2,4
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,5	1,2	1,3	1,4	1,7	1,1	2,0
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,6	-	1,2	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura a blocchi lapidei squadrati	1,2	-	1,2	1,2	1,2	-	1,4
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	(***)	-	1,3 (****)	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%)	1,2	-	-	-	1,3	-	1,3

(\*) I coefficienti correttivi relativi alle iniezioni di miscele leganti devono essere commisurati all'effettivo beneficio apportato alla muratura, riscontrabile con verifiche sia nella fase di esecuzione (iniettabilità) sia a-posteriori (riscontri sperimentali attraverso prove soniche o similari).

(\*\*) Valori da ridurre convenientemente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm).

(\*\*\*) Nel caso di muratura di mattoni si intende come "malta buona" una malta con resistenza media a compressione  $f_m$  superiore a 2 N/mm<sup>2</sup>. In tal caso il coefficiente correttivo può essere posto pari a  $f_m^{0,35}$  ( $f_m$  in N/mm<sup>2</sup>).

(\*\*\*\*) Nel caso di muratura di mattoni si intende come muratura trasversalmente connessa quella apparecchiata a regola d'arte.

Relativamente agli interventi di consolidamento, nel caso di uso combinato di diverse tecniche di consolidamento, i coefficienti possono essere applicati in forma moltiplicativa; il valore del coefficiente complessivo non può superare il coefficiente massimo indicato nell'ultima colonna della tabella.

# STRUTTURE IN MURATURA

## - EDIFICI ESISTENTI: Caratterizzazione Meccanica dei Materiali -

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 <i>limitate</i> verifiche in-situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e <i>limitate</i> prove in-situ	Analisi lineare statica o dinamica	1.35
LC2		Disegni costruttivi incompleti con <i>limitate</i> verifiche in situ oppure estese verifiche in-situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali con <i>limitate</i> prove in-situ oppure estese prove in-situ	Tutti	1.20
LC3		Disegni costruttivi completi con <i>limitate</i> 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

# STRUTTURE IN MURATURA

## - EDIFICI ESISTENTI: Caratterizzazione Meccanica dei Materiali -

Tabella C8A.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	Rilievo muratura, volte, solai, scale. Individuazione carichi gravanti su ogni elemento di parete Individuazione tipologia fondazioni. Rilievo eventuale quadro fessurativo e deformativo.	verifiche in situ limitate	Indagini in situ limitate  Resistenza: valore minimo di Tabella C8A.2.1 Modulo elastico: valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1	Tutti	1.35
LC2			Indagini in situ estese  Resistenza: valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1 Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1		1.20
LC3		verifiche in situ estese ed esaustive	Indagini in situ esaustive  -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).		1.00

## LIVELLI DI CONOSCENZA

### Strutture in muratura – **Dettagli Costruttivi**

*I dettagli costruttivi da esaminare sono relativi ai seguenti elementi:*

- 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, etc.), e sue **caratteristiche costruttive** (eseguita in mattoni o in pietra, regolare, irregolare, etc.).

## LIVELLI DI CONOSCENZA

### Strutture in muratura – **Dettagli Costruttivi**

- **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** tra 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**.

## LIVELLI DI CONOSCENZA

### **Strutture in muratura – *Proprietà dei Materiali***

- **Verifiche 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 C8A.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, al fine di verificare anche le ammorsature tra le pareti murarie. E' 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.

## LIVELLI DI CONOSCENZA

### **Strutture in muratura – *Proprietà dei Materiali***

**- Verifiche 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, etc.), e eventualmente di pietre e/o mattoni (caratteristiche fisiche e meccaniche) consentono di individuare la tipologia della muratura (si veda la Tabella C8A.2.1 per le tipologie più ricorrenti). È opportuna una prova per ogni tipo di muratura presente. **Metodi di prova non distruttivi** (prove soniche, prove sclerometriche, penetrometriche per la malta, etc.) **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. Le Regioni potranno, tenendo conto delle specificità costruttive del proprio territorio, definire zone omogenee a cui riferirsi a tal fine.*

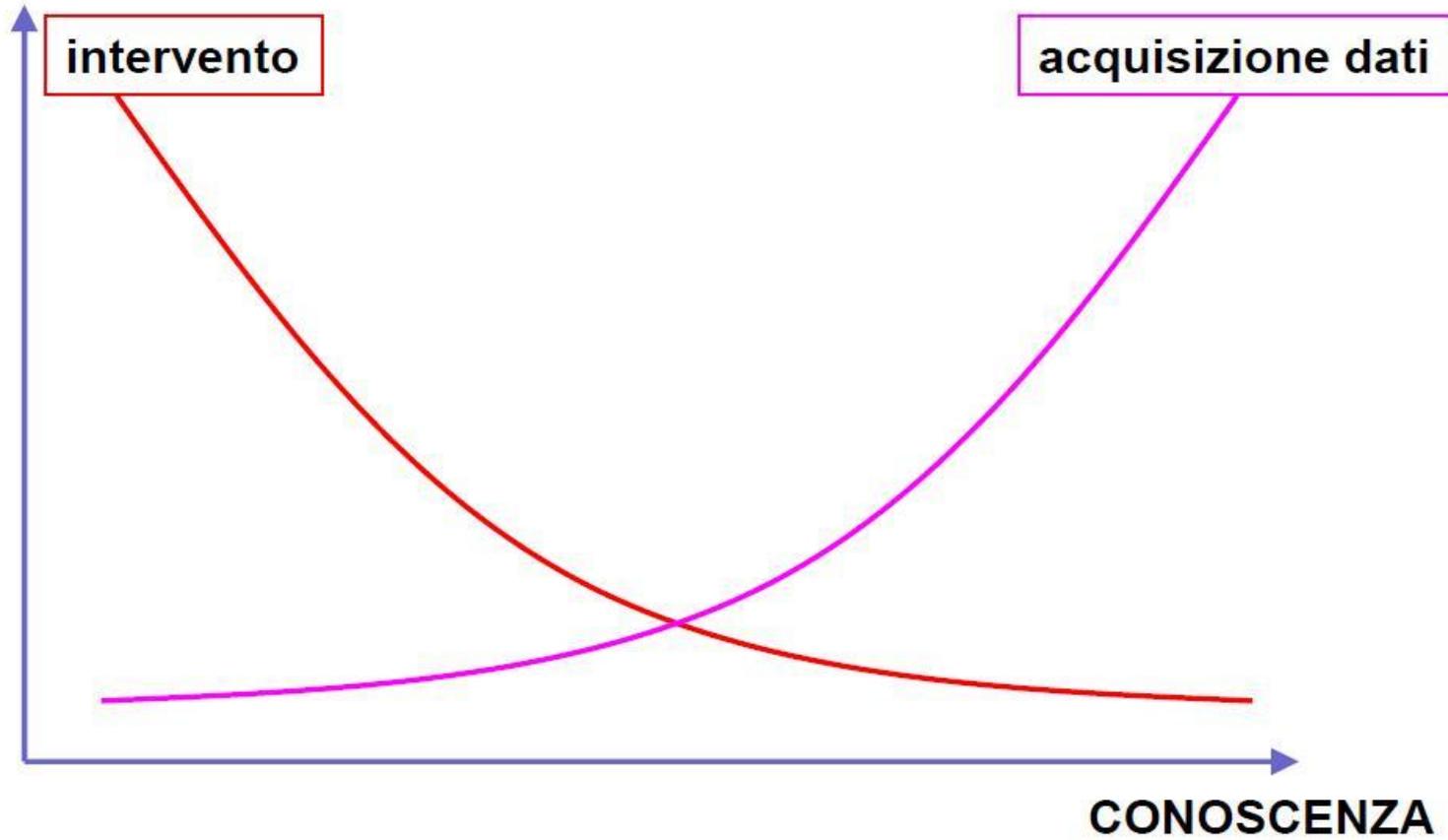
## LIVELLI DI CONOSCENZA

### Strutture in muratura – **Proprietà dei Materiali**

- **Verifiche 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. Le Regioni potranno, tenendo conto delle specificità costruttive del proprio territorio, definire zone omogenee a cui riferirsi a tal fine.*

# LIVELLI DI CONOSCENZA

**COSTO**



***[www.angelobiondi.com](http://www.angelobiondi.com)***