



ANACI

Associazione Nazionale Amministratori  
Condominiali e Immobiliari  
*Sezione provinciale di Cosenza*

CONVEGNO DI STUDIO: SINERGIE PER UN CONDOMINIO SICURO

## LA SICUREZZA STATICA DEGLI EDIFICI

Prof. Ing. Giuseppe Spadea  
Ordinario di Tecnica delle Costruzioni

UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA



CAMPUS DI ARCAVACATA

# Definizioni Preliminari

- **RESISTENZA**

✓ La sicurezza statica degli edifici è garantita dalla capacità di tutti gli elementi della costruzione aventi funzione strutturale\* di sopportare le azioni che possono, per qualsiasi motivo, agire sulla costruzione.

\* Ovviamente anche della e della costruzione nel suo complesso

- **DEFORMAZIONI E SPOSTAMENTI**

✓ E' altresì necessario che sia assicurata non solo la resistenza ma è necessario anche che deformazioni e spostamenti siano limitati in modo da garantire che la costruzione non subisca danni, che gli impianti possano funzionare regolarmente e che gli infissi e tutte le opere di finitura conservino la loro funzionalità e la loro integrità.

Gli elementi della costruzione aventi funzione strutturale vengono anche definiti

**ELEMENTI PORTANTI**

# Elementi della Costruzione che hanno Funzione Strutturale

- Fondazioni
- Pilastri e Setti Verticali
- Travi
- Scale
- Solai
- Mensole e Sbalzi
- Archi
- Volte
- Murature portanti (edifici in muratura)
- Strutture del tetto
- Muri di sostegno
- .....ETC.....

# Azioni sulle Costruzioni

- **PERMANENTI**

- peso proprio degli elementi strutturali
- peso proprio degli elementi non strutturali
- spostamenti/deformazioni imposte
- pre-sollecitazione
- ritiro e viscosità
- spostamenti differenziali

- **SISMICHE**

- orizzontali
- verticali

- **VARIABILI**

- carico antropico/di esercizio
- vento
- neve
- variazioni termiche

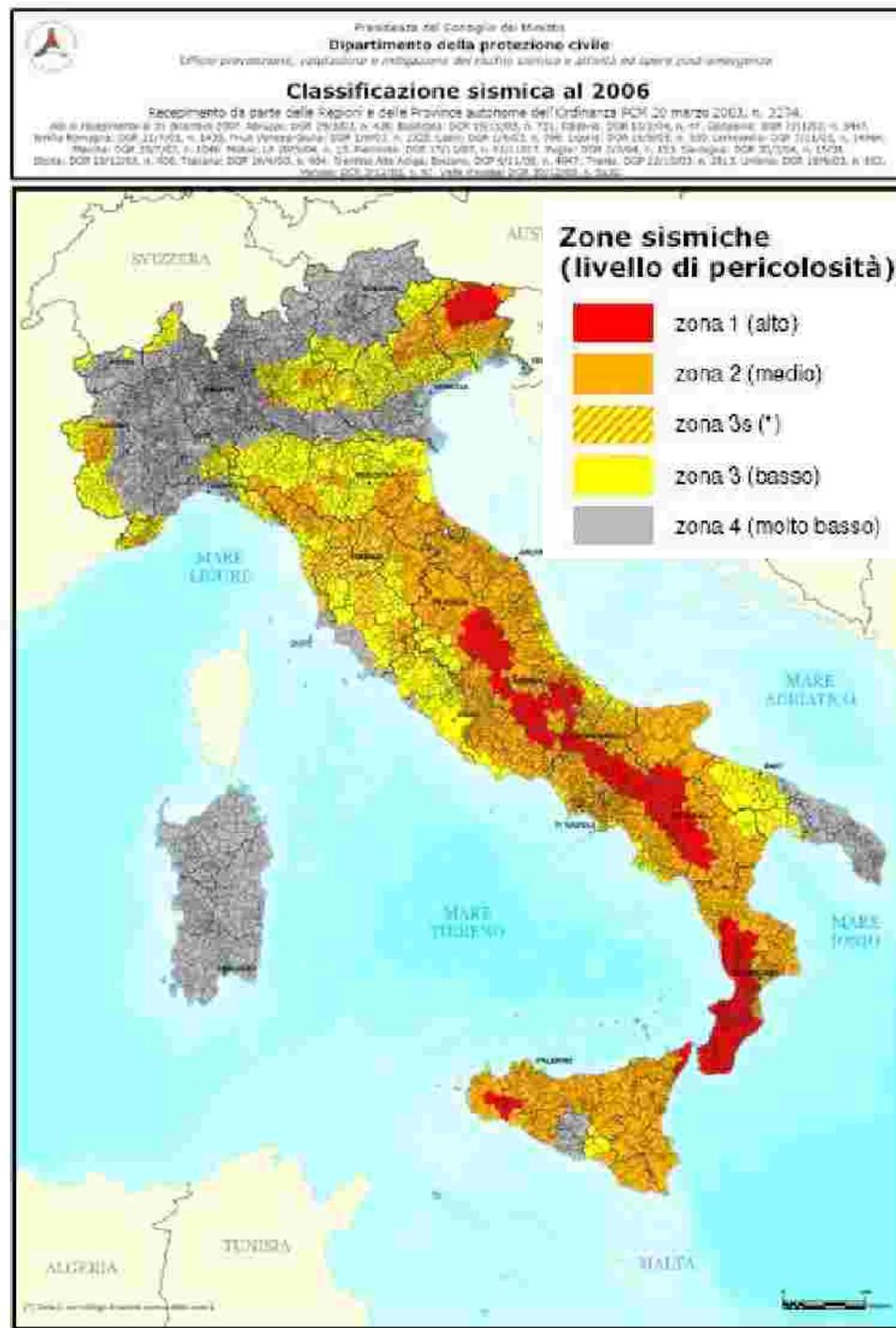
- **ECCEZIONALI**

- incendi
- esplosioni
- urti e impatti

- **DEGRADO**

- endogeno
- esogeno

# CLASSIFICAZIONE SISMICA





Edificio in c.a. di recente costruzione – Pettino (AQ)

Collasso dell'edificio in corrispondenza del primo livello a causa delle caratteristiche di rigidità inferiore rispetto a quelle dei livelli sovrastanti.



## Edificio in c.a. di recente costruzione - Abruzzo

Crollo rovinoso di parti non strutturali dell'edificio da imputarsi ad eccessivi spostamenti esibiti dalla struttura portante e a scarsa qualità dei componenti edilizi



## Casa dello Studente – L'Aquila

Il crollo coinvolge tutti i livelli dell'edificio. Le connessioni tra elementi strutturali appaiono estremamente deboli.



### Chiesa di Santa Maria Paganica – L'Aquila

Rovinoso crollo della volta a botte e della cupola in muratura causate dalla crisi dei punti di appoggio dovuta a grandi spostamenti laterali e agli effetti della componente verticale della forza sismica



## Basilica di San Bernardino – L'Aquila

Esempio di buona risposta sismica nel piano della  
facciata senza evidenti danni evidenziati



## Palazzo del Governo – L'Aquila

Collasso da attribuirsi all'assenza di connessioni tra i diversi paramenti e alle scarse proprietà meccaniche degli stessi elementi murari.

# Riferimenti Legislativi

- Legge n. 1086 /1971 - Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica
- Legge n. 64 /1974 - Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche
- DPR n. 380 /2001 - Testo unico in materia edilizia
- DM 14/01/2008 - Norme Tecniche per le Costruzioni
- EUROCODICI: Esteso ed Esaustivo "Corpus" di Norme Tecniche, Istruzioni, Raccomandazioni, Prescrizioni

# Materiali strutturali tradizionali

- Muratura
    - Pietrame
    - Pietrame Listato
    - Laterizi
    - Blocchi squadriati
    - Calcestruzzo non armato
  - Calcestruzzo Armato e Calcestruzzo Armato Precompresso (Acciaio in barre e calcestruzzo)
  - Acciaio da Carpenteria
  - Legno
- Materials Lapidei / Malte / Calcestruzzi

MURATURE/MALTE/CALCESTRUZZO: Resistenza solo a Compressione

ALTRI MATERIALI: Resistenza a Compressione ed a Trazione

## Rapporti Resistenza/Peso dei Materiali Strutturali

Materiale	Resistenza / peso specifico	Efficienza relativa di riferimento
Murature - Calcestruzzo	50 - 1000	1
Legno	1500 - 2000	2
Acciaio	4000 - 25000	15
Fibre di carbonio	100000	100

# Materiali strutturali innovativi

- Compositi Fibrorinforzati a matrice polimerica
- Compositi Fibrorinforzati a matrice cementizia

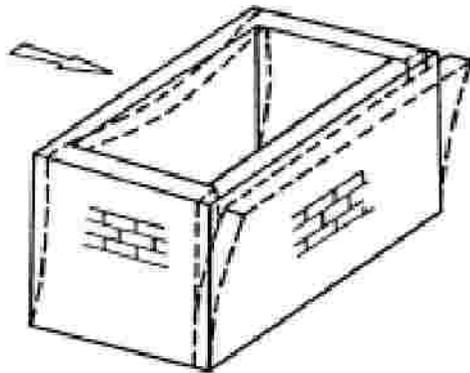
## Comparazione tra Materiali FRP e acciaio

	<b>Modulo di elasticità normale</b>	<b>Resistenza a trazione</b>	<b>Deformazione a rottura</b>	<b>Coefficiente di dilatazione termica</b>	<b>Densità</b>
	[GPa]	[MPa]	[%]	[10 <sup>-6</sup> °C <sup>-1</sup> ]	[g/cm <sup>3</sup> ]
<b>Fibre di vetro E</b>	70 – 80	2000 – 3500	3.5 – 4.5	5 – 5.4	2.5 – 2.6
<b>Fibre di vetro S</b>	85 – 90	3500 – 4800	4.5 – 5.5	1.6 – 2.9	2.46 – 2.49
<b>Fibre di carbonio (alto modulo)</b>	390 – 760	2400 – 3400	0.5 – 0.8	-1.45	1.85 – 1.9
<b>Fibre di carbonio (alta resistenza)</b>	240 – 280	4100 – 5100	1.6 – 1.73	-0.6 – -0.9	1.75
<b>Fibre aramidiche</b>	62 – 180	3600 – 3800	1.9 – 5.5	-2	1.44 – 1.47
<b>Matrice polimerica</b>	2.7 – 3.6	40 – 82	1.4 – 5.2	30 – 54	1.10 – 1.25
<b>Acciaio da Costruzione</b>	206	250 – 400 (snervamento) 350 – 600 (rottura)	20 – 30	10.4	7.8

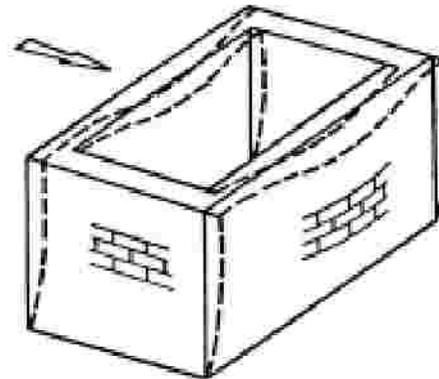
# Edifici in Muratura

- Resistenza per forma
  - Esempio: il funzionamento strutturale dell'arco e della volta (cupola)
- Resistenza prevalente alle azioni orizzontali delle pareti nel proprio piano
- Resistenza diffusa
- Effetto irrigidente degli elementi orizzontali

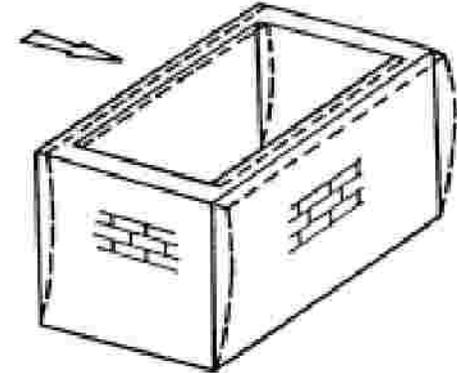
## Risposta degli edifici in muratura alle azioni orizzontali



a) con solaio deformabile e senza cordolo



b) con cordolo e con solaio deformabile



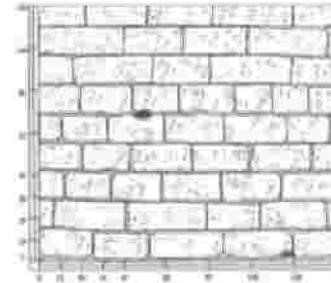
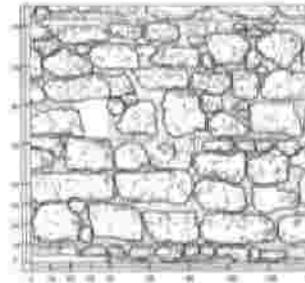
c) con cordolo e con solaio rigido

- Collegamenti tra i diversi elementi mediante Ammortature, Cordoli e Catene

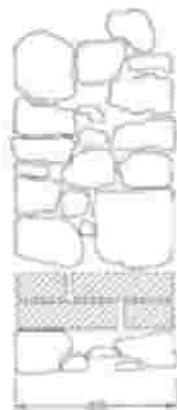
=> EFFETTO SCATOLA

# Tipologie di Muratura

- Pietrame
- Pietrame Listato
- Laterizi
- Blocchi squadrati



BELFIORE  
2nd FLOOR  
a)



BELFIORE 1st FLOOR  
VESCIA  
b)



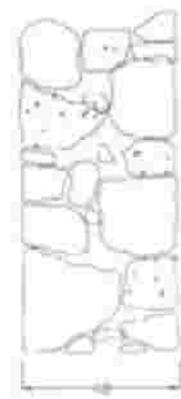
SELLANO  
S-D-09-OR  
c)



SELLANO  
S-D-10-OR  
d)



VILLA MAGINA  
SOGLIO  
e)



PONTE  
POSTIGNANO  
f)

# Edifici in Muratura: Prescrizioni Normative Essenziali

- Regolarità
- Limitazione di Altezza
- Limitazioni Geometriche (interassi, spessori, altezze, n. di piani)
- Tipologie e caratteristiche meccaniche dei materiali

# Edifici con struttura in c.a. od in acciaio

- Altezza Illimitata
- Libertà Geometrica e Strutturale
- Possibilità di realizzare grandi luci e sbalzi
- Resistenza 'concentrata' nei soli elementi strutturali
- Strutture 'intelaiate'
- Elevata qualità meccanica dei materiali strutturali

# Principi Normativi Fondamentali (1/3)

- Verifiche agli Stati Limite

- Stati Limiti Ultimi (SLU)

Perdita di equilibrio, Eccesso di spostamenti e deformazioni, Limite di resistenza della struttura o di una parte, Cedimento del terreno, Rottura per fatica, Effetti dipendenti dal tempo, Instabilità di parti della struttura o del suo insieme

- Stati Limite di Esercizio (SLE) Danneggiamenti locali o diffusi, Durabilità, Deformazioni che limitano la funzionalità o compromettono l'efficienza della costruzione o degli impianti o macchinari, Eccesso di vibrazioni, Corrosione .....

- Vita nominale delle costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale $V_N$ (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva <sup>1</sup>	$\leq 10$
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	$\geq 50$
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	$\geq 100$

# Principi Normativi Fondamentali (2/3)

- Classi d'uso delle costruzioni

*Classe I:* Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

*Classe II:* Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso *III* o in Classe d'uso *IV*, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

*Classe III:* Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso *IV*. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

*Classe IV:* Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

# Principi Normativi Fondamentali (3/3)

- Periodo di riferimento per l'azione sismica

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ :

$$V_R = V_N \cdot C_U \quad (2.4.1)$$

Il valore del coefficiente d'uso  $C_U$  è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato in Tab. 2.4.II.

**Tab. 2.4.II** – Valori del coefficiente d'uso  $C_U$

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

Se  $V_R \leq 35$  anni si pone comunque  $V_R = 35$  anni.

# Stati Limite in caso di Azione Sismica

## Stati Limite di Esercizio

- Stato Limite di Operativita' (SLO)
- Stato Limite di Danno (SLD)

## Stati Limite Ultimi

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)

# Edifici di nuova costruzione

- **SOGGETTI RESPONSABILI**
  - Committente
  - Progettista
  - Direttore dei Lavori
  - Collaudatore
- **DOCUMENTAZIONE**
  - Elaborati Progettuali
  - Relazione di Ultimazione Struttura
  - Certificato di Collaudo
  - Certificato di Abitabilità
- **ADEMPIMENTI FONDAMENTALI**
  - Comune (Regolarità Urbanistica)
  - Genio Civile (Sicurezza Strutturale)
  - Soprintendenza (eventuale Regolarità Paesaggistica, Monumentale, Storica ed Ambientale)

# Edifici Esistenti

- SOGGETTI RESPONSABILI
    - Conduttore/i
    - Soggetti intervenuti a vario titolo
  - DOCUMENTAZIONE ESISTENTE
  - ADEMPIMENTI IN FASE DI COSTRUZIONE
  - VERIFICA DELLA REGOLARITA' DEGLI ADEMPIMENTI NEI RIGUARDI DELLA NORMATIVA VIGENTE ALL'EPOCA DELLA COSTRUZIONE
  - RISPONDENZA DELL'EDIFICIO AL PROGETTO INIZIALE  
(Verifica di difformità e di eventuali interventi di modifica)
  - STATO DI MANUTENZIONE E DI CONSERVAZIONE  
(Verifica della geometria e delle proprietà dei materiali strutturali)
- ⇒ "FASCICOLO DEL FABBRICATO"
- ⇒ Giudizio Complessivo sulla Sicurezza

## Quando è necessario valutare la sicurezza di edifici esistenti?

- riduzione evidente della capacità resistente e/o deformativa della struttura o di alcune sue parti dovuta ad azioni ambientali (sisma, vento, neve e temperatura), significativo degrado e decadimento delle caratteristiche meccaniche dei materiali, azioni eccezionali (urti, incendi, esplosioni), situazioni di funzionamento ed uso anomalo, deformazioni significative imposte da cedimenti del terreno di fondazione;
- provati gravi errori di progetto o di costruzione;
- cambio della destinazione d'uso della costruzione o di parti di essa, con variazione significativa dei carichi variabili e/o della classe d'uso della costruzione;
- interventi non dichiaratamente strutturali, qualora essi interagiscano, anche solo in parte, con elementi aventi funzione strutturale e, in modo consistente, ne riducano la capacità o ne modifichino la rigidità.

Qualora le circostanze di cui ai punti precedenti riguardino porzioni limitate della costruzione, la valutazione della sicurezza potrà essere limitata agli elementi interessati e a quelli con essi interagenti, tenendo presente la loro funzione nel complesso strutturale.



La valutazione della sicurezza deve permettere di stabilire se:

- l'uso della costruzione possa continuare senza interventi;
- l'uso debba essere modificato (declassamento, cambio di destinazione e/o imposizione di limitazioni e/o cautele nell'uso);
- sia necessario procedere ad aumentare o ripristinare la capacità portante.

# Classificazione degli interventi

- interventi di adeguamento atti a conseguire i livelli di sicurezza previsti dalla norma;
- interventi di miglioramento atti ad aumentare la sicurezza strutturale esistente, pur senza necessariamente raggiungere i livelli richiesti dalla norma;
- riparazioni o interventi locali che interessino elementi isolati, e che comunque comportino un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti.

Gli interventi di adeguamento e miglioramento devono essere sottoposti a collaudo statico.

Per i beni di interesse culturale in zone dichiarate a rischio sismico, ai sensi del comma 4 dell'art. 29 del D. lgs. 22 gennaio 2004, n. 42 "Codice dei beni culturali e del paesaggio", è in ogni caso possibile limitarsi ad interventi di miglioramento effettuando la relativa valutazione della sicurezza.

# Intervento di Adeguamento

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

- sopraelevare la costruzione;
- ampliare la costruzione mediante opere strutturalmente connesse alla costruzione;
- 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;
- effettuare interventi strutturali volti a trasformare la costruzione mediante insieme sistematico di opere che portino ad un organismo edilizio diverso dal precedente.

# 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.
- È possibile eseguire interventi di miglioramento nei casi in cui non ricorrano le condizioni necessarie all'adeguamento.

Ad esempio una variazione dell'altezza dell'edificio, per la realizzazione di cordoli sommitali, sempre che resti immutato il numero di piani, non è considerata sopraelevazione o ampliamento.

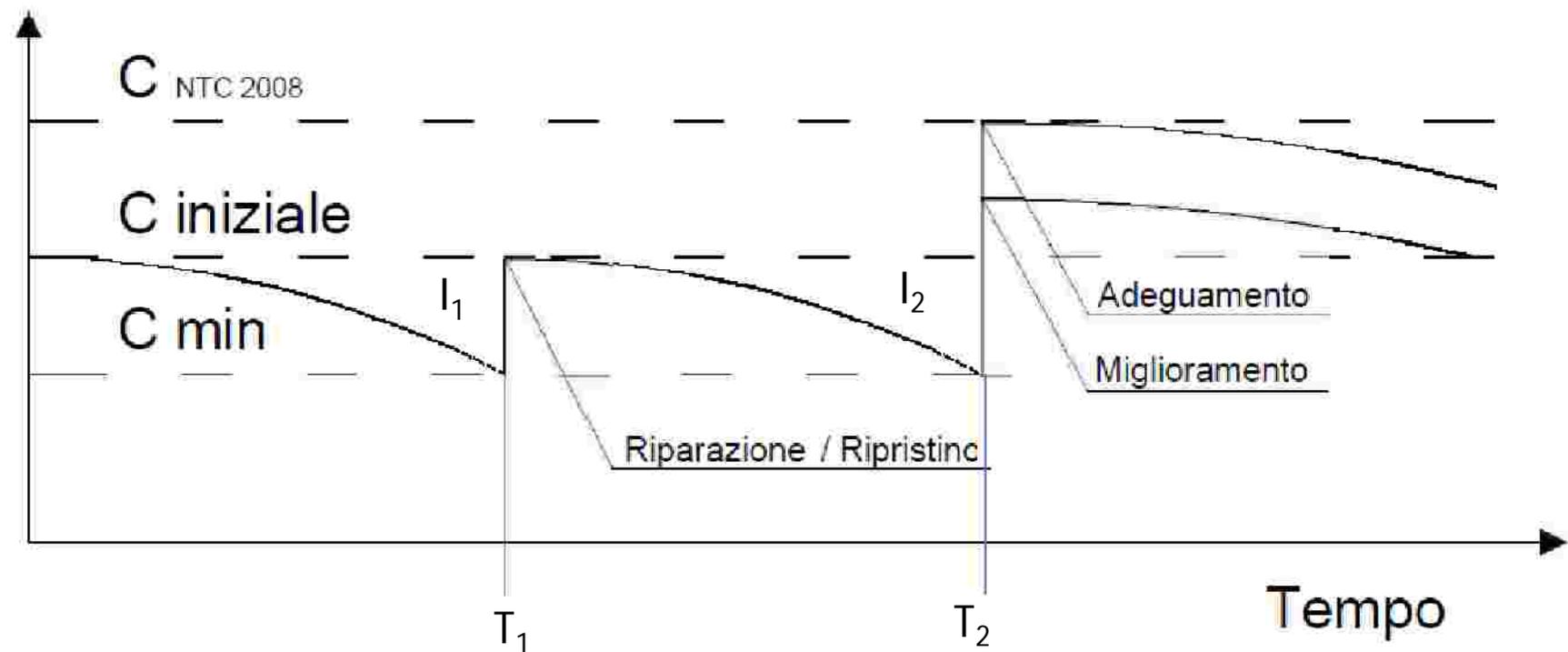
Il progetto e la valutazione della sicurezza dovranno essere estesi a tutte le parti della struttura potenzialmente interessate da modifiche di comportamento, nonché alla struttura nel suo insieme.

# Riparazione o Intervento Locale

- In generale, gli interventi di questo tipo riguarderanno singole parti e/o elementi della struttura e 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.

# Grafico Capacità / Tempo

Capacità



# Fasi progettuali nella Valutazione della Sicurezza

1. Analisi storico-critica – Rilievo – Caratterizzazione meccanica dei materiali;
2. Definizione dei Livelli di Conoscenza (LC) e dei Fattori di Confidenza (FC);
3. Progettazione in presenza di azioni sismiche e Valutazione del Livello di sicurezza presente;
4. Definizione degli eventuali interventi da effettuare affinché l'uso della struttura possa essere conforme ai criteri di sicurezza definiti dalla norma;
5. Ridefinizione dei livelli di sicurezza raggiunti con l'intervento, nonché le eventuali conseguenti limitazioni da imporre nell'uso della costruzione.

L'aspetto fondamentale è senza dubbio l'introduzione del concetto di Livello di Conoscenza che definisce le procedure per il rilievo geometrico-strutturale, per i dettagli strutturali, per la caratterizzazione meccanica dei materiali, per il metodo di analisi da utilizzare. Inoltre, sono definite le azioni e i materiali da utilizzare negli eventuali interventi.

# Livello di conoscenza: Edifici in muratura

Livello di con.	Geometria	Dettagli costruttivi	Proprietà dei materiali	FC
LC1	Rilievo muratura, volte, solai, scale.	verifiche in situ <b>limitate</b>	<b>Indagini in situ limitate</b> Resistenza: valore minimo di Tabella C8A.2.1 Modulo elastico: valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1	<b>1.35</b>
LC2	Individuazione carichi gravanti su ogni elemento di parete.	verifiche in situ <b>estese ed Esaustive</b>	<b>Indagini in situ estese</b> Resistenza: valore medio Intervallo di Tabella C8A.2.1 Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1	<b>1.20</b>
LC3	Individuazione tipologia fondazioni.  Rilievo eventuale quadro fessurativo e deformativo.		<b>Indagini in situ esaustive</b> 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).	<b>1.00</b>

# Livello di conoscenza: Edifici in c.a.

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 <u>limitate</u> verifiche in-situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e <u>limitate</u> prove in-situ	Analisi lineare statica o dinamica	1.35
LC2		Disegni costruttivi incompleti con <u>limitate</u> verifiche in situ oppure <u>estese</u> verifiche in-situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali con <u>limitate</u> prove in-situ oppure <u>estese</u> prove in-situ	Tutti	1.20
LC3		Disegni costruttivi completi con <u>limitate</u> verifiche in situ oppure <u>esaustive</u> verifiche in-situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto con <u>estese</u> prove in situ oppure <u>esaustive</u> prove in-situ	Tutti	1.00

# Fattori Di Confidenza

Per quanto concerne le costruzioni esistenti in muratura, la norma stabilisce che la sicurezza della costruzione debba essere valutata sia nei confronti dei meccanismi di collasso locali e che meccanismi d'insieme.

Per le costruzioni esistenti in c.a. e in acciaio, invece, è previsto che possa essere attivata la capacità di elementi con meccanismi resistenti sia "duttili" che "fragili".

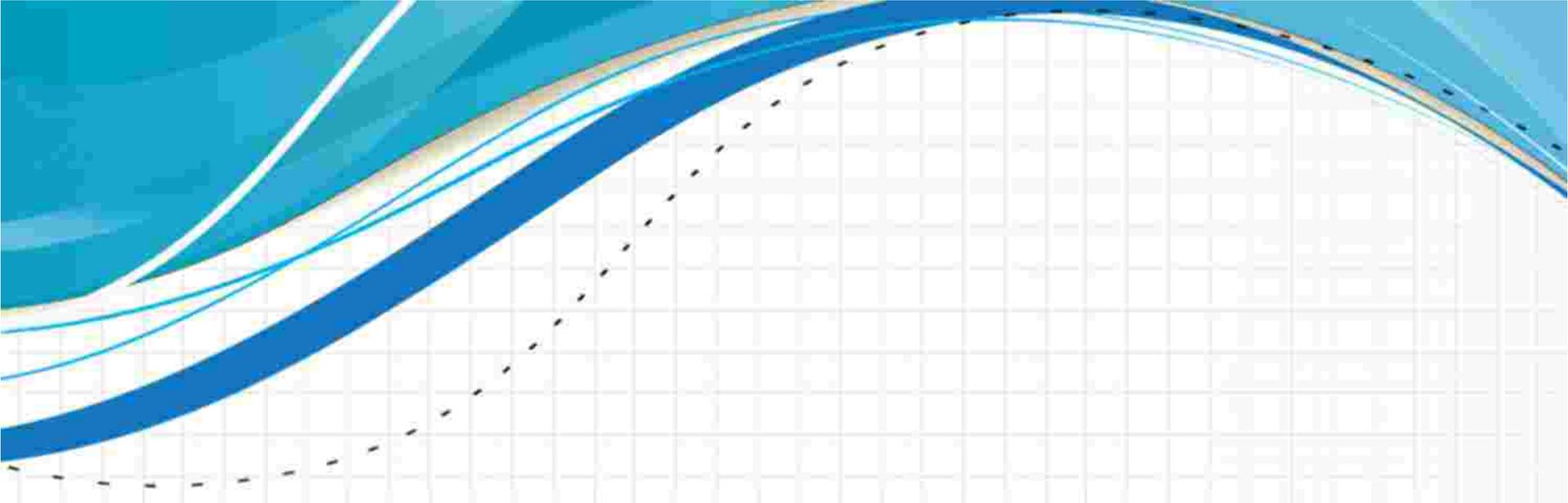
A seconda del Livello di Conoscenza conseguito, ovvero Conoscenza Limitata (LC1), Conoscenza Adeguata (LC2) e Conoscenza Accurata (LC3) viene definito un Fattore di Confidenza (FC), che assume valori pari a 1.35, 1.20, 1.00 e che riduce i valori medi di resistenza dei materiali della struttura esistente che, a loro volta, saranno ulteriormente ridotti dai coefficienti parziali di sicurezza.

Appare dunque evidente l'importanza di risalire ad un Livello di Conoscenza elevato poiché ciò ha pesanti ripercussioni sugli eventuali interventi strutturali sia dal punto di vista della quantità di operazioni da svolgere che da quello economico.

# Conclusioni

L'analisi storico-critica e la verifica di tutta la documentazione tecnica riguardante la sicurezza statica della costruzione consente di programmare con la massima economia ed efficienza e con il miglior rapporto costi – benefici gli interventi tesi alla:

- Salvaguardia delle Vite Umane
- Conservazione e Valorizzazione della Proprietà Edilizia
- Riduzione della Probabilità che si verifichino danni consistenti



Grazie per l'attenzione

DOMANDE?