



I<sup>A</sup> GIORNATA NAZIONALE DELLA  
PREVENZIONE SISMICA

MESE DELLA PREVENZIONE SISMICA

30 SETTEMBRE 2018

NOVEMBRE 2018

Promossa da



ORDINE DEGLI  
INGEGNERI  
DELLA PROVINCIA  
DI CASERTA



ordine degli **architetti**  
pianificatori paesaggisti conservatori  
della provincia di **caserta**



CONSIGLIO NAZIONALE  
DEGLI INGEGNERI



CONSIGLIO NAZIONALE  
DEGLI ARCHITETTI  
PIANIFICATORI  
PAESAGGISTI  
E CONSERVATORI

## PRESENTAZIONE DELLA 1° GIORNATA DELLA PREVENZIONE SISMICA Belvedere di San Leucio, 17 settembre 2018

**Sicurezza sismica, conoscenze tecnologiche e quadro normativo:  
la classificazione sismica per il sisma bonus**

prof. ing. Giuseppe Faella

Dipartimento di Architettura e Disegno Industriale  
Università degli Studi della Campania «Luigi Vanvitelli»

### **Sicurezza sismica (NTC/2018)**

Valutazione della **Sicurezza Strutturale** come rapporto tra la capacità, in termini di resistenza, duttilità e/o spostamento, e il valore di progetto della domanda, attraverso:

**Rapporto  $\zeta_E$** : tra l'azione sismica massima sopportabile dalla struttura e l'azione sismica massima che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione

**Rapporto  $\zeta_{V,i}$** : tra il valore massimo del sovraccarico verticale variabile sopportabile dalla parte i-esima della costruzione e il valore del sovraccarico verticale variabile che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione

Un ulteriore parametro utilizzato nella valutazione della sicurezza sismica è:

**Tempo di intervento  $T_{INT}$** : intervallo convenzionale di tempo (relativo a uno specifico Stato Limite) entro cui si deve procedere alla realizzazione degli interventi

### **da evidenziare (NTC/2018):**

1. La maggiore attenzione nei confronti degli **interventi locali e di miglioramento sismico** per la rilevanza (oramai acquisita) dei *collassi parziali in termini di danni a cose e persone*
2. La maggiore attenzione dedicata alla **conoscenza della costruzione** esistente è *posta più considerazione su particolari costruttivi e indicazioni progettuali dell'epoca di costruzione (maggiormente responsabili della risposta sismica della costruzione)*

### **Classificazione sismica (DM. 65/2017)**

Valutazione della **Classe di Rischio** utilizzando un parametro economico e uno di sicurezza:

**PAM (Perdita Annuale Media attesa):** costo di riparazione dei potenziali danni da sisma, ripartito annualmente ed espresso come percentuale del costo di ricostruzione

*(indicatore economico che lega una percentuale del Costo di Riparazione alle capacità della struttura per ciascuno Stato Limite)*

**IS-V (Indice di Sicurezza allo SLV):** rapporto tra la PGA che determina il raggiungimento dello Stato Limite di Salvaguardia della Vita e quella prevista per un nuovo edificio

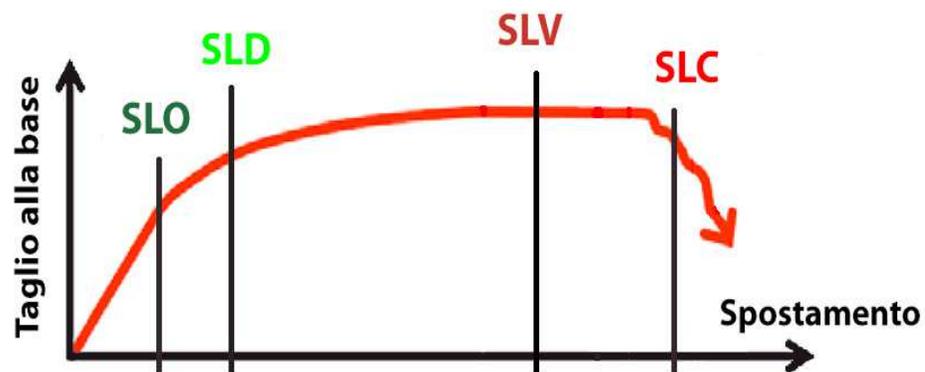
*(indicatore che esprime la vulnerabilità della costruzione ed è utilizzato per limitare la perdita di vite umane)*

#### ▪ **Tra le principali differenze NTC/2018 - DM. 65/2017) :**

Nella valutazione della sicurezza le NTC/2018 (capitolo 8.3) non sempre obbligano la verifica nei confronti degli **Stati Limite di Esercizio** (obbligo solo per edifici in classe IV), mentre il metodo convenzionale del DM 65/2017 la richiede sempre

# NTC 2018: Stati limite di elementi strutturali, elementi non strutturali e impianti

- Per tutti gli elementi strutturali, non strutturali e gli impianti si deve verificare che il valore della domanda di progetto sia inferiore al corrispondente valore della capacità di progetto
- La norma fornisce, per ciascun tipo di elemento, le prestazioni in termini di danno, capacità ultima (resistenza o duttilità) o funzionamento, e il tipo di verifica da eseguire (tabella 7.3.III)



NTC 2018: Tab. 7.3.III

Stato limite		Classe d'Uso I	Classe d'Uso II			Classi d'Uso II e IV		
		Strutturali	Strutturali	Non Strutturali	Impianti	Strutturali	Non Strutturali	Impianti (*)
SLE	SLO					Rigidezza		Funzionamento
	SLD	Rigidezza	Rigidezza			Resistenza		
SLU	SLV	Resistenza	Resistenza	Stabilità	Stabilità	Resistenza	Stabilità	Stabilità
	SLC		Duttilità			Duttilità		

(\*) Per le Classi d'Uso III e IV, nella categoria Impianti ricadono anche gli arredi fissi

## NTC/2018 e DM.65/2017: Stati limite

- La classificazione sismica secondo DM 65/2017 richiede l'introduzione di due ulteriori **Stati Limite convenzionali** (SLID e SLR)

**Stato Limite di Inizio Danno (SLID):** a cui è associabile una perdita economica nulla in corrispondenza di un evento sismico

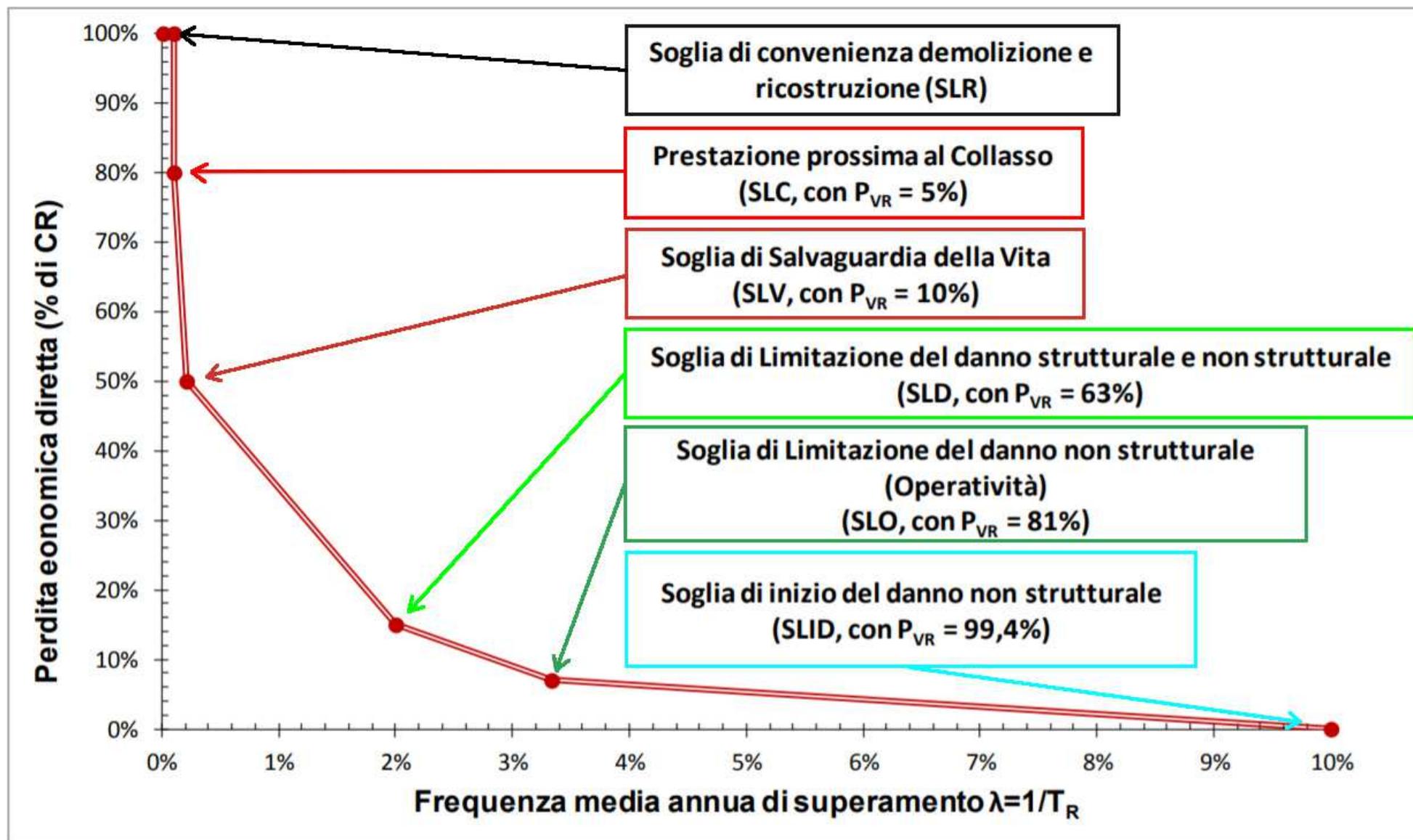
**Stato Limite di Ricostruzione (SLR):** a cui, stante la criticità generale della costruzione tale da rendere pressoché impossibile interventi diversi da demolizione e ricostruzione, è comunque associabile una perdita economica pari al 100%

Stato limite			Periodo di ritorno TR [anni]	Frequenza annuale $\lambda$ [%]	
Stato limite convenzionale	SLID	Inizio danno	10	10.00	DM.65/2017
Stati limite di esercizio	SLO	Operatività	30	3.33	NTC/2018 e DM.65/2017
	SLD	Danno	50	2.00	NTC/2018 e DM.65/2017
Stati limite ultimi	SLV	Salvaguardia della vita	475	0.21	NTC/2018 e DM.65/2017
	SLC	Prevenzione del collasso	975	0.10	NTC/2018 e DM.65/2017
Stato limite convenzionale	SLR	Ricostruzione	infinito	0.00	DM.65/2017

## La classificazione sismica

<b>Metodo convenzionale (per tutte le costruzioni) [basato sui metodi di valutazione delle NTC]</b>	<b>Metodo semplificato (costruzioni in muratura) [solo per indagini e interventi di tipo locale]</b>
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Analisi della struttura e definizione delle accelerazioni al suolo di capacità <math>PGA_C</math> per ciascuno stato limite</li><li>2. Determinazione dei corrispondenti periodi di ritorno <math>Tr_C</math> <math display="block">Tr_C = Tr_D (PGA_C / PGA_D)^\eta</math></li><li>3. Calcolo della frequenza media annua di superamento <math>\lambda</math> per ogni <math>Tr_C</math> (<math>\lambda = 1/Tr_C</math>)</li><li>4. <b>Determinazione della Classe PAM</b> (si associa ad ogni <math>\lambda</math> un valore di PAM come percentuale di CR, considerando i due Stati Limite aggiuntivi SLR e SLID)</li><li>5. <b>Determinazione della Classe IS-V</b></li><li>6. <b>Determinazione della Classe di Rischio Sismico</b> (il minore tra i valori di Classe PAM e Classe IS-V)</li><li>7. Definizione interventi globali e locali</li> <li>8. <i>Rideterminazione della Classe di Rischio per la struttura nello stato di progetto</i></li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Determinazione della tipologia strutturale (che meglio descrive la costruzione)</li><li>2. Individuazione della Classe di Vulnerabilità <math>V_i</math> (in base alla scala EMS-98)</li><li>3. Determinazione dell'eventuale scostamento dalla Classe Media (solo in senso negativo)</li><li>4. Individuazione della zona sismica</li><li>5. <b>Attribuzione della Classe di Rischio</b></li><li>6. <b>Abbinamento della Classe PAM</b></li><li>7. Miglioramento della Classe di Rischio – Interventi locali (solo con passaggio alla classe superiore)</li></ol>

## Classificazione sismica: curva di riferimento



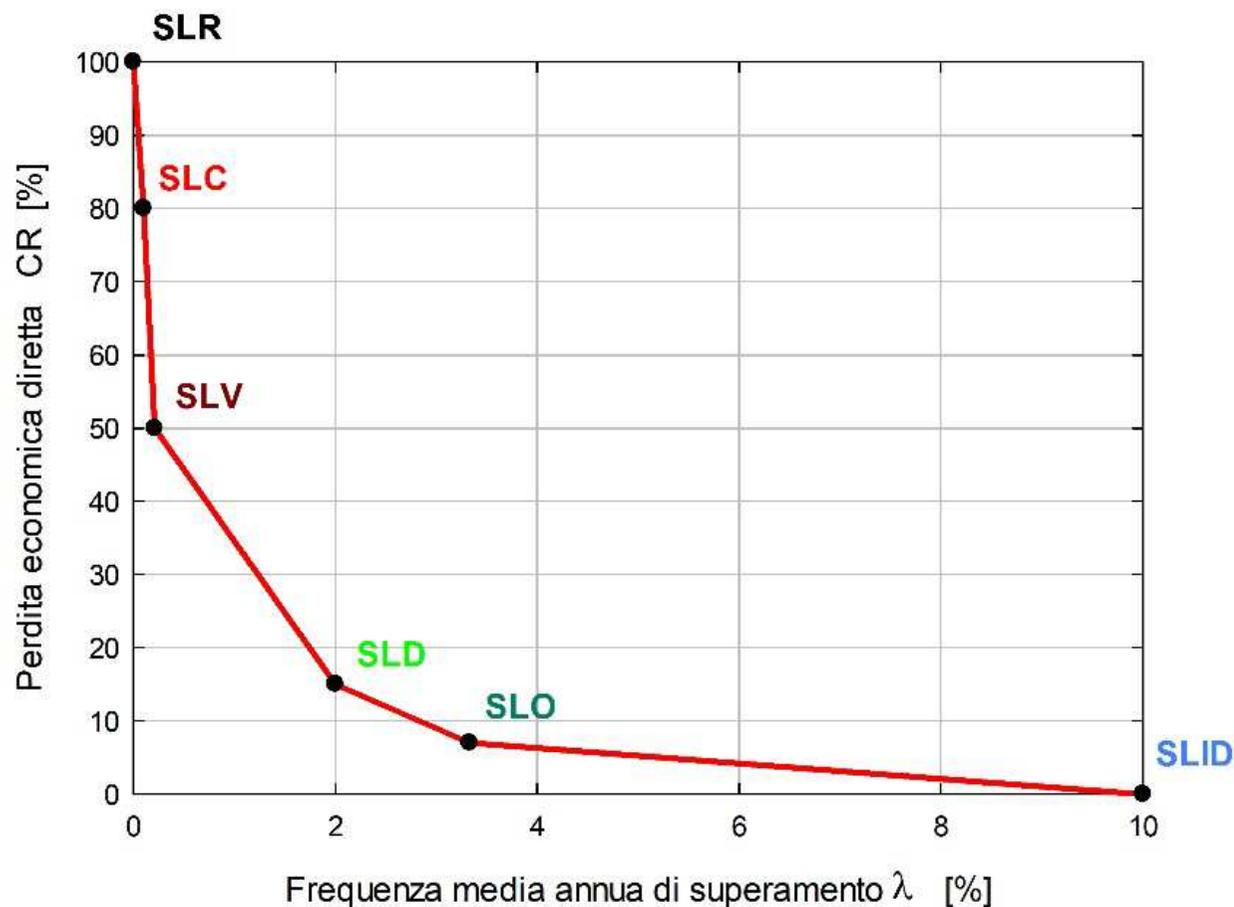
## Classificazione sismica: **curva di riferimento**

- Curva di riferimento per un **edificio totalmente rispondente** alle prescrizioni delle NTC/2018

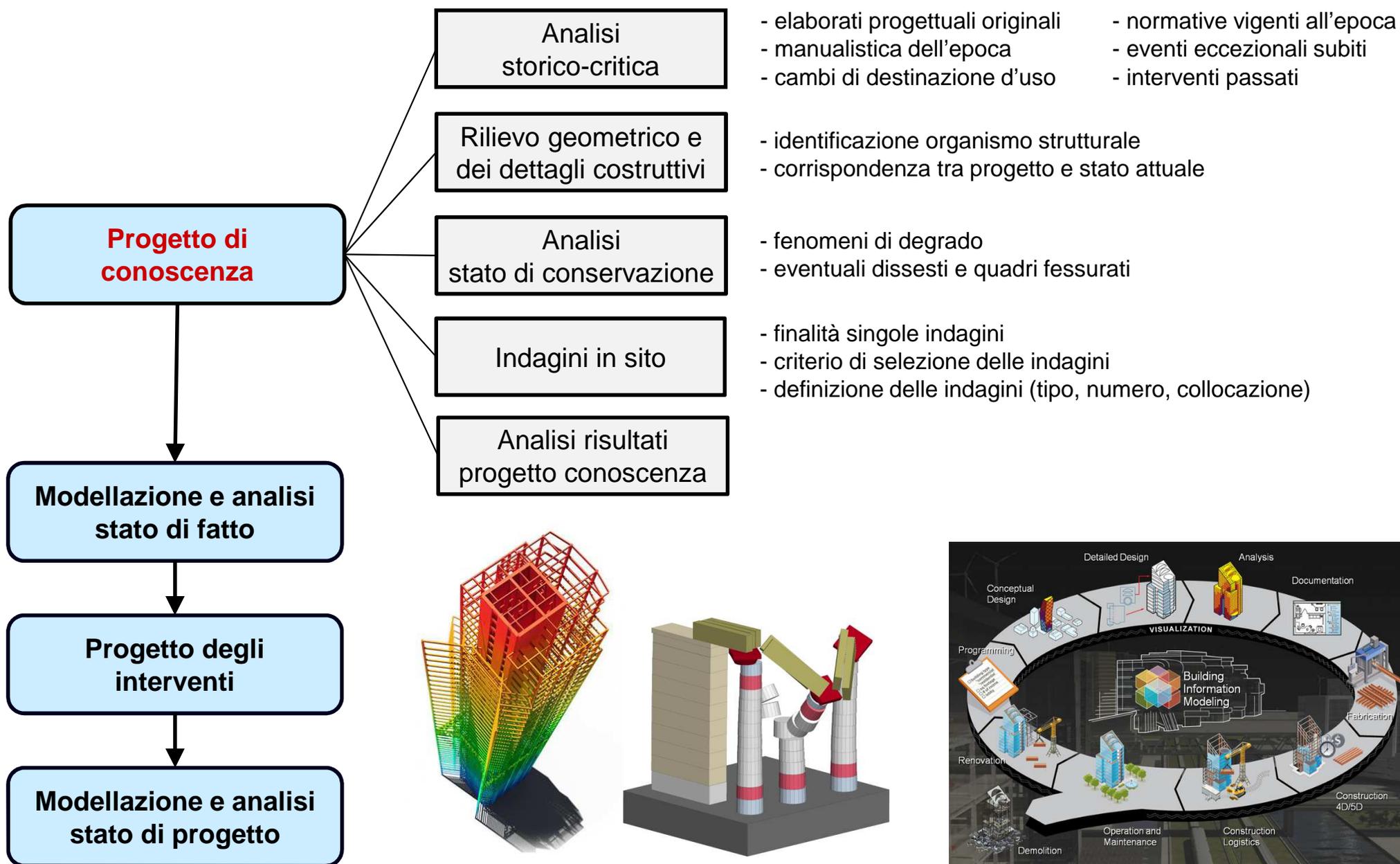
*Curva per periodo di riferimento*

$$V_R = V_N * C_u = 50 \text{ anni}$$

Stato limite	Frequenza annuale $\lambda$	Percentuale Costo di Ricostruzione $C_R$
SLID	10.00 %	0.00 %
SLO	3.33 %	7.00 %
SLD	2.00 %	15.00 %
SLV	0.21 %	50.00 %
SLC	0.10 %	80.00 %
SLR	0.00 %	100.00%



# Dal progetto della conoscenza al progetto degli interventi



- Le norme tecniche per la progettazione delle strutture in cemento armato nascono nei **primi anni del 1900**, quando si afferma la tecnica delle costruzioni, ma ...
- Le prime disposizioni sono emanate con **D.M. 10 gennaio 1907**  
(comprendevano sia i *Metodi normali di prova per gli agglomerati idraulici*, sia le *Prescrizioni normali per l'esecuzione delle opere in cemento armato*)
- Le prime norme "vere" sono quelle del **Regio Decreto Legge 16 novembre 1939**, n. 2228 e 2229 "*Norme per l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice od armato*"  
(Si tratta di un testo che resterà a lungo in vigore, fino al 22 luglio 1972 e ha normato il c.a. nel **periodo della ricostruzione post-bellica** e del **boom edilizio degli anni '60**)

Decreto Ministeriale 10 Gennaio 1907  
(Pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale del 2 Febbraio 1907, n. 28)

MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI

IL MINISTRO SEGRETARIO DI STATO

PER I LAVORI PUBBLICI

Ritenuta la necessità di stabilire i requisiti essenziali, cui devono soddisfare i materiali agglomerati, calce e cementi e i cementi armati, da impiegarsi nell'esecuzione delle opere pubbliche dipendenti dal Ministero dei lavori pubblici, nonché le norme da seguire nelle prove e negli assaggi dei materiali stessi;

Viste le proposte presentate all'uopo con relazione del 14 Novembre u.s. dalla Commissione istituita con decreto Ministeriale 22 Febbraio 1905 per lo studio delle norme e del controllo scientifico sui materiali da costruzione;

Sentito il Consiglio superiore dei lavori pubblici;

Ritenuto che le dette proposte, con le modificazioni suggerite dal Consiglio stesso e indicate nel voto del 15 Dicembre 1906, valgono a disciplinare la materia in modo conforme allo stato attuale degli studi tecnici su tale oggetto;

Decreta:

Art. 1  
Sono approvate le norme contenute nei tre allegati al presente decreto, concernenti: metodi normali di prova per gli agglomeranti idraulici (allegato A); prescrizioni normali per l'esecuzione delle opere in cemento armato (allegato B); condizioni tecniche alle quali debbono soddisfare le forniture di agglomeranti idraulici (allegato C).

Art. 2  
Nell'esecuzione di opere dipendenti dal Ministero dei lavori pubblici, o dal medesimo concesse o sussidiate, l'osservanza delle norme e condizioni, di cui al precedente articolo, è obbligatoria e come tale dovrà essere prescritta nei relativi capitolati d'appalto, i quali, perciò, d'ora innanzi non contengono più, per le calce e i cementi, l'indicazione tassativa dei luoghi e fabbriche di provenienza.

Roma, addì 10 Gennaio 1907.

Per il ministro  
DARI

**1907**

APPENDICE

PRESCRIZIONI REGOLAMENTARI ITALIANE

**R. DECRETO-LEGGE 16 novembre 1939-NVIII, n. 2228 (1)**  
(Pubblicato nel Suppl. Ord. alla Gazzetta Ufficiale n. 30 del 18 aprile 1940)

Norme per l'accettazione dei leganti idraulici

VITTORIO EMANUELE III  
PER GRAZIA DI DIO E VOLONTÀ DELLA NABONRE  
RE D'ITALIA E D'ALBANIA, IMPERATORE D'ETIOPIA

Vedute l'art. 18 del R. decreto-legge 25 giugno 1937-NVI, numero 1114;  
Veduto il R. decreto-legge 5 settembre 1939-NVI, n. 1787;  
Visto il Consiglio dei Ministri;  
Sulla proposta del DUCE del Fascismo, Capo del Governo, di concerto col Ministro per i lavori pubblici e per le corporazioni;  
Abbiamo decretato e decretiamo:

Sono approvate e rese obbligatorie le annesse norme, compilate dal Consiglio nazionale delle ricerche, per l'accettazione dei leganti idraulici (cemento) ed agglomeranti cementizi le quali saranno firmate, a ordine nostro, dal DUCE del Fascismo, Capo del Governo, proponente.

Sono abrogate tutte le disposizioni contrarie o comunque incompatibili con quelle del presente decreto, il quale entrerà in vigore nel 6° giorno dopo la sua pubblicazione.

Ordiniamo che il presente decreto munito del sigillo dello Stato sia inserito nella raccolta ufficiale delle Leggi e dei decreti del Regno d'Italia, mandando a chiunque spetti di osservarlo e farlo osservare.

Dato a Roma, addì 16 novembre 1939-NVIII.

VITTORIO EMANUELE III  
MUSOLINI - SIRIENA - RICCI  
Registrato alla Corte dei conti, addì 29 febbraio 1940-NVIII.

Atti del Governo, registro 418, foglio 118 - MANCINI

CAPO I  
CLASSIFICAZIONE E DISTRIBUZIONE

Art. 1.  
Agli effetti delle presenti norme i leganti idraulici si distinguono in:

A) Generali:  
a) idraulico normale (Portland);  
b) pozziatico.

(1) Il primo regolamento di norme ufficiali italiane fu quello del gennaio 1907. I successivi regolamenti furono i seguenti:  
Decreto presidenziale 15 maggio (Gazzetta Ufficiale, n. 135 del 12 giugno 1913).  
R. Decreto-Legge 4 settembre 1927 n. 1981 (Gazzetta Ufficiale n. 404, dell'11 novembre 1927).  
R. Decreto-Legge 7 giugno 1928 n. 1434 (Gazzetta Ufficiale, n. 156, del 6 luglio 1928).  
R. Decreto-Legge 4 aprile 1929, n. 102 (Gazzetta Ufficiale, n. 101, del 10 aprile 1929).

R. Decreto-Legge 16 novembre 1939 n. 2228

Prescrizioni regolamentari italiane

501

della facoltà d'ingegneria della R. Università di Pisa;  
della facoltà d'ingegneria della R. Università di Roma;  
della facoltà d'ingegneria della R. Università di Napoli;  
della facoltà d'ingegneria della R. Università di Palermo;

laboratorio del R. Istituto Sperimentale delle Comunicazioni (Stazione Fernovaria),  
Firenze;  
d'ordine di S. M. Il Re d'Italia e d'Albania Imperatore d'Etiopia  
Il Duce del Fascismo, Capo del Governo  
MUSOLINI

**REGIO DECRETO 16 novembre 1939-NVIII, n. 2229**  
(Pubblicato nel Suppl. Ord. alla Gazzetta Ufficiale, n. 32 del 18 aprile 1940)

Norme per la esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice od armato

VITTORIO EMANUELE III  
PER GRAZIA DI DIO E VOLONTÀ DELLA NABONRE  
RE D'ITALIA E D'ALBANIA, IMPERATORE D'ETIOPIA

Vedute l'art. 18 del R. decreto-legge 25 giugno 1937-NVI, numero 1114;  
Veduto il R. decreto-legge 5 settembre 1939-NVI, n. 1787;  
Visto il Consiglio dei Ministri;  
Sulla proposta del DUCE del Fascismo, Capo del Governo, di concerto col Ministro per i lavori pubblici e per le corporazioni;  
Abbiamo decretato e decretiamo:

Sono approvate e rese obbligatorie le annesse norme, compilate dal Consiglio nazionale delle ricerche, per la esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice od armato, le quali saranno firmate, d'ordine nostro, dal DUCE del Fascismo, Capo del Governo, proponente.

Sono abrogate tutte le disposizioni contrarie o comunque incompatibili con quelle del presente decreto, il quale entrerà in vigore nel 6° giorno dopo la sua pubblicazione.

Ordiniamo che il presente decreto munito del sigillo dello Stato sia inserito nella raccolta ufficiale delle Leggi e dei decreti del Regno d'Italia, mandando a chiunque spetti di osservarlo e farlo osservare.

Dato a Roma, addì 16 novembre 1939-NVIII.

VITTORIO EMANUELE III  
MUSOLINI - SIRIENA - RICCI  
Registrato alla Corte dei conti, addì 29 febbraio 1940-NVIII.

Atti del Governo, registro 418, foglio 118 - MANCINI

CAPO I  
PRESCRIZIONI GENERALI

Art. 1.  
Ogni opera di cemento armato deve essere progettata e costruita in base alle norme tecniche prescritte nel presente decreto.

Art. 2.  
L'esecuzione delle opere deve essere diretta possibilmente dall'ingegnere progettista e in ogni caso da un ingegnere od architetto iscritto nell'Albo e deve essere affidata soltanto a costruttori iscritti nell'elenco delle ditte specializzate, che sarà tenuto presso il ministero dei lavori pubblici e presso il sindacato nazionale fascista dei costruttori.

Art. 3.  
L'esecuzione delle opere deve essere diretta possibilmente dall'ingegnere progettista e in ogni caso da un ingegnere od architetto iscritto nell'Albo e deve essere affidata soltanto a costruttori iscritti nell'elenco delle ditte specializzate, che sarà tenuto presso il ministero dei lavori pubblici e presso il sindacato nazionale fascista dei costruttori.

Art. 4.  
Al costruttore, prima di iniziare la costruzione delle opere, di cui all'art. 1, è fatto obbligo di presentare alla prefettura della provincia demandata, corredata di una copia del progetto di massima.

Nel cantiere, dal giorno dell'inizio a quello di ultimazione dei lavori, deve essere conservata una copia dei particolari esecutivi di tutte le parti delle opere in costruzione, disegni e firmati dal progettista, dal direttore dei lavori, dal costruttore, il direttore del cantiere ed il direttore del cantiere di ogni parte delle opere.

Art. 5.  
L'esecuzione delle opere deve essere diretta possibilmente dall'ingegnere progettista e in ogni caso da un ingegnere od architetto iscritto nell'Albo e deve essere affidata soltanto a costruttori iscritti nell'elenco delle ditte specializzate, che sarà tenuto presso il ministero dei lavori pubblici e presso il sindacato nazionale fascista dei costruttori.

**1939 n. 2229**

Supplemento ordinario alla GAZZETTA UFFICIALE n. 109 del 22 luglio 1972

2

LEGGI E DECRETI

DECRETO MINISTERIALE 30 maggio 1972.

Norme tecniche alle quali devono sottostare le costruzioni in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.

IL MINISTRO PER I LAVORI PUBBLICI

Vista la legge 5 novembre 1971, n. 1086, pubblicata nella Gazzetta Ufficiale n. 321 del 21 dicembre 1971, recante norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica;

Ritenuto che, ai sensi dell'art. 21 della citata legge 5 novembre 1971, n. 1086, devono essere emanate le norme tecniche alle quali dovranno uniformarsi le costruzioni di cui alla legge medesima;

Visto il testo delle norme tecniche predisposto dal Servizio tecnico centrale;

Sentito il Consiglio superiore dei lavori pubblici che si è espresso con il parere emesso dalla assemblea generale nell'adunanza del 21 aprile 1972 con voto n. 122;

Sentito il Consiglio nazionale delle ricerche che si è espresso con nota 5 aprile 1972, n. 6388;

Decreta:

Sono approvate le norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche di cui alla legge 5 novembre 1971, n. 1086, predisposte dal Servizio tecnico centrale ed allegate al presente decreto.

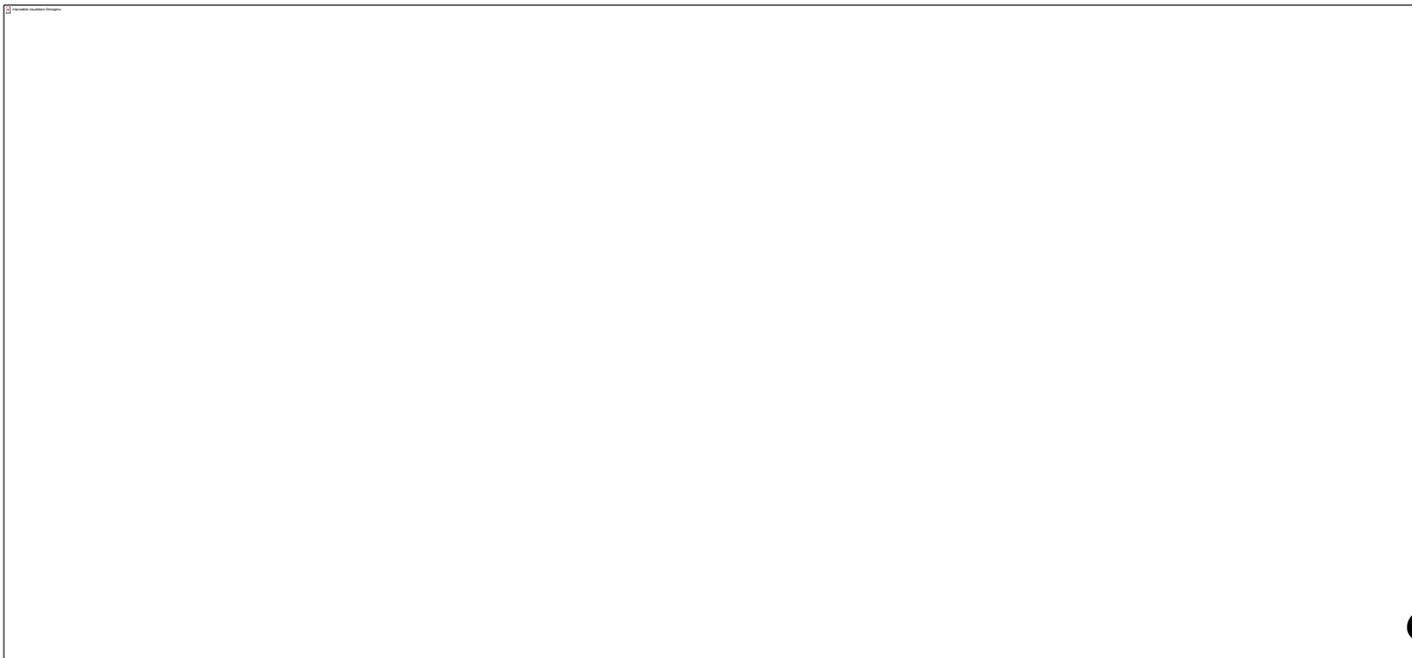
Roma, addì 30 maggio 1972

Il Ministro: FERRARIS-AGROTTI

**1972**

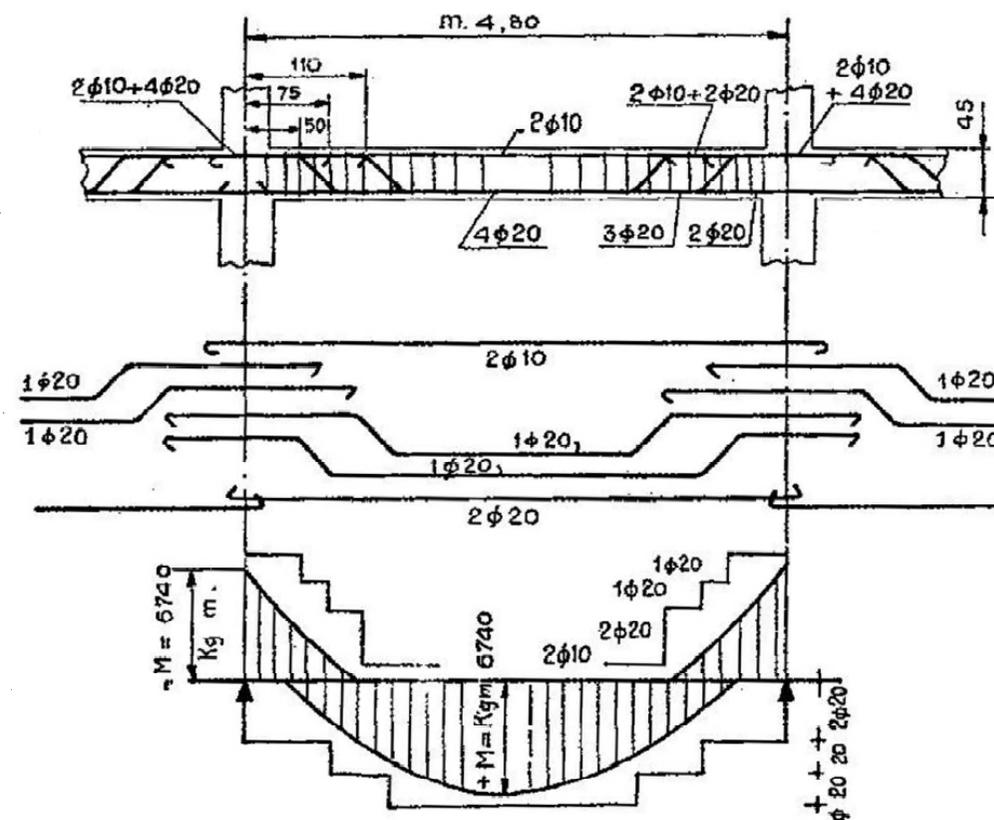
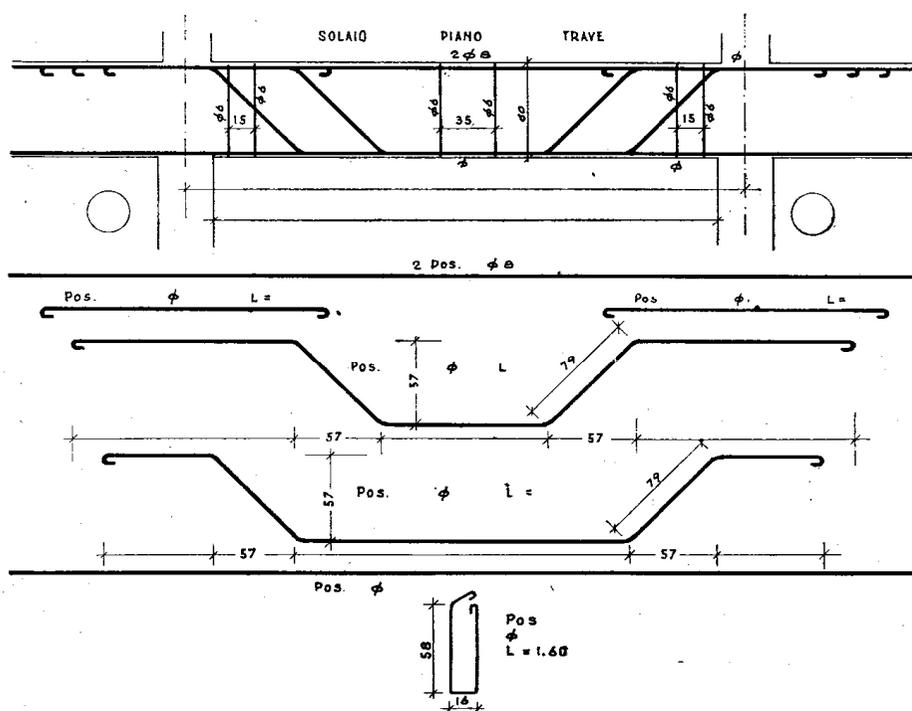
### Caratteristiche tipiche degli edifici in c.a. progettati in assenza di azioni sismiche

- Assenza di un reticolo di travi in due direzioni ortogonali
- Telai in una sola direzione ad esclusione di quelle perimetrali
- Pilastri orientati in una direzione prevalente
- Distribuzione delle rigidezze pressoché simmetrica nella sola direzione trasversale
- Collocazione centrale di un corpo scala con travi a ginocchio
- Fondazioni a plinti isolati non collegati tra loro
- Solai deformabili (soprattutto quelli degli anni '50 e '60)
- Tamponature in laterizio forato a doppia foderia
- ... ..



***Carpenteria tipica***

- Travi**
- Modellazione a trave continua o a singola trave incastrata agli estremi
  - Progetto a semplice armatura
  - Frequente presenza, in alcuni lembi, dei soli 2 reggistaffe, tipicamente  $\Phi 12$
  - Diametro delle armature longitudinali non assortiti correttamente
  - Ricorrenza di poche barre di grande diametro
  - Passo ampio della staffatura
  - Periodica assenza di barre sagomate
  - Ancoraggi insufficienti delle armature

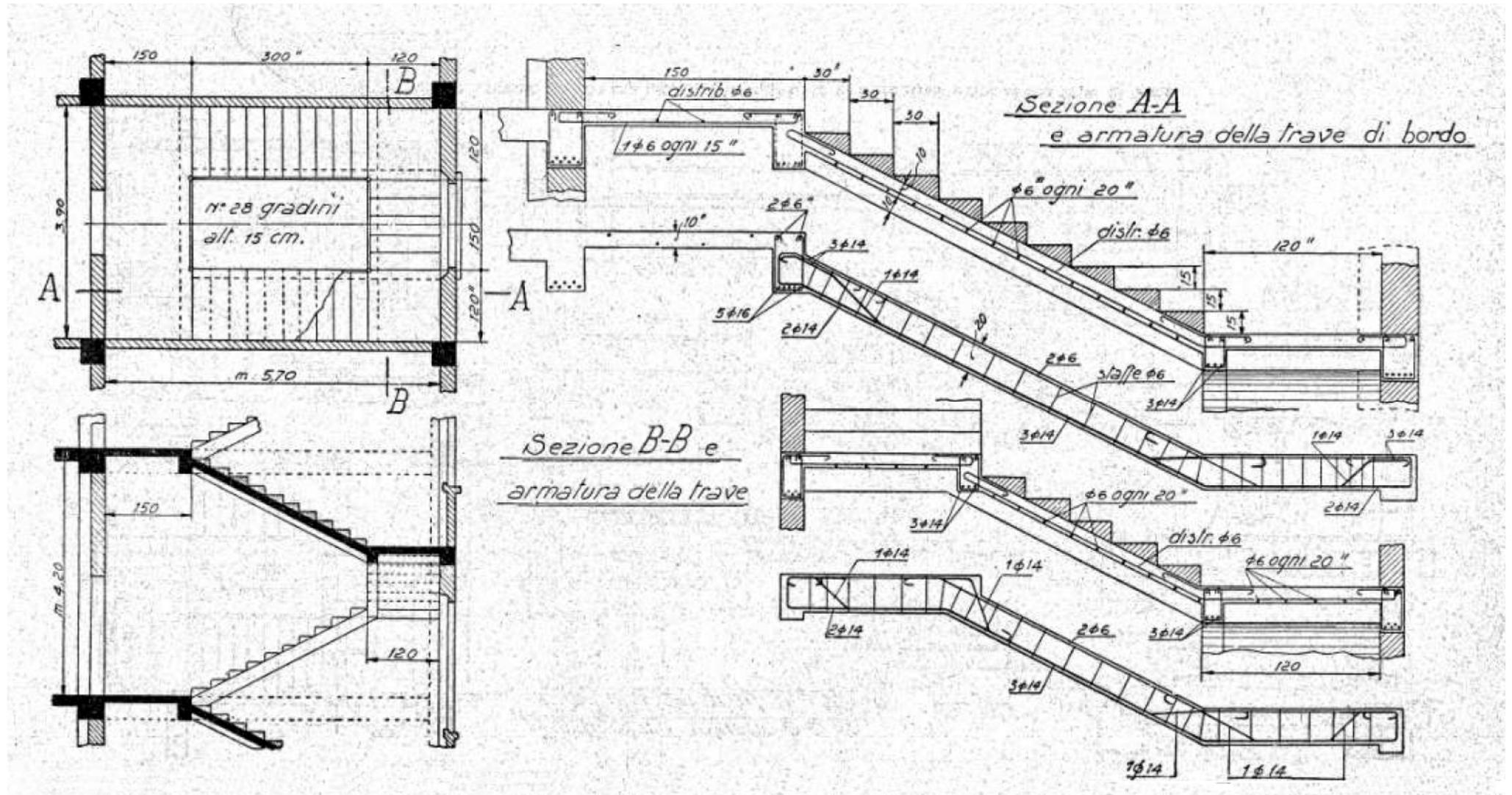


da V.Serao & F.Rossi, *Costruzioni - Ed. Cremonese (1955)*

da L. Santarella, *Prontuario del cemento armato (1968)*

Manuali e prontuari tecnici

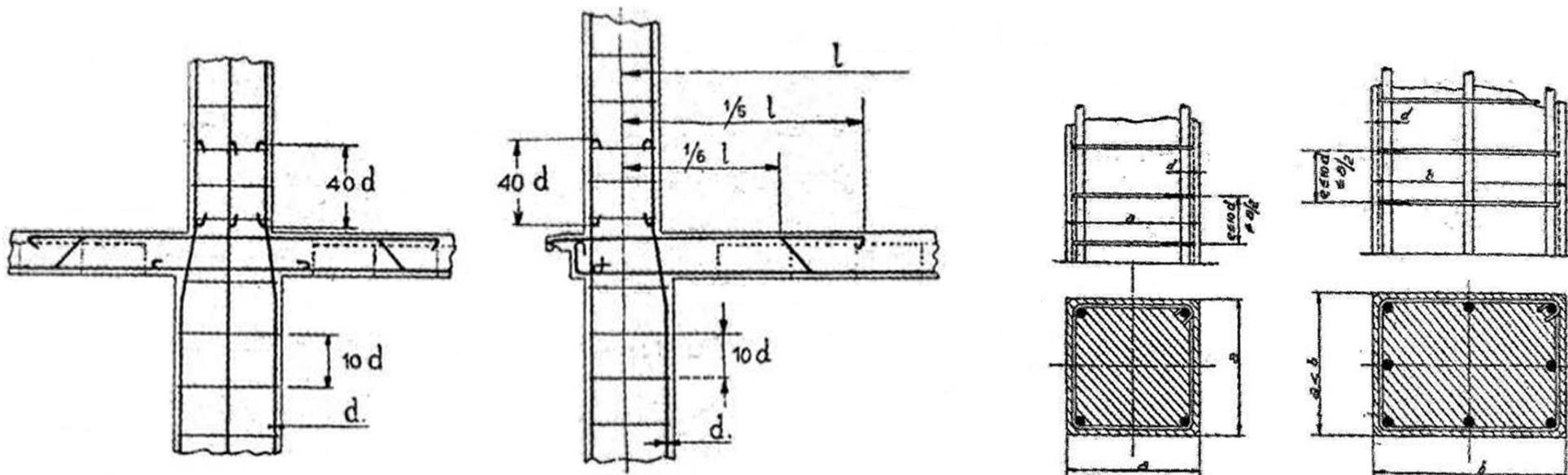
Indicazioni per le scale



da L. Santarella, Prontuario del cemento armato (1968)

## Pilastrini

- Progetto a forza assiale centrata
- Sezioni ridotte con piccoli quantitativi di armatura
- Rastrematura della sezione trasversale talvolta significativa
- Passo e geometria delle staffe inadeguati (quasi sempre a 2 bracci)
- Sovrapposizione inadeguata delle armature longitudinali
- Armatura carente nei nodi



da L. Santarella, *Prontuario del cemento armato* (1968)

- Solai anni '50-'70:**
- Solaio tipo Miozzo-Salerni
  - Solaio Bidelta
  - Solaio Stimip
  - Solaio Berra
  - Solaio Varese
  - Solaio in forati speciali
  - Solaio Sap
  - Solaio Sapal
  - Solaio Excelsior
  - Solaio Imer

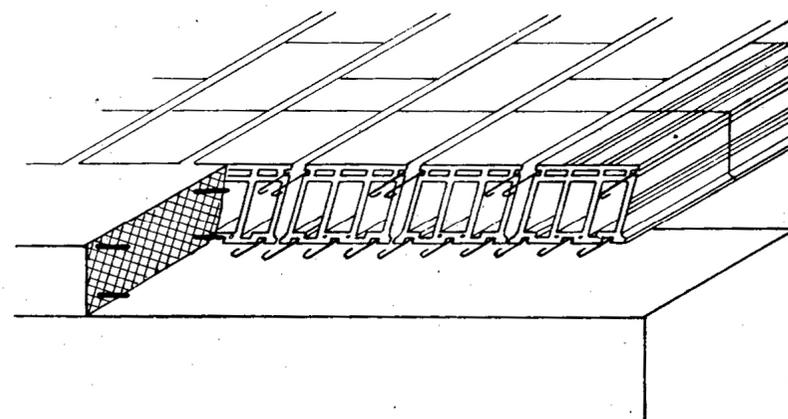


Fig. 169

TAB. XLVI. — Dati tecnici sui solai « S.A.P. ».

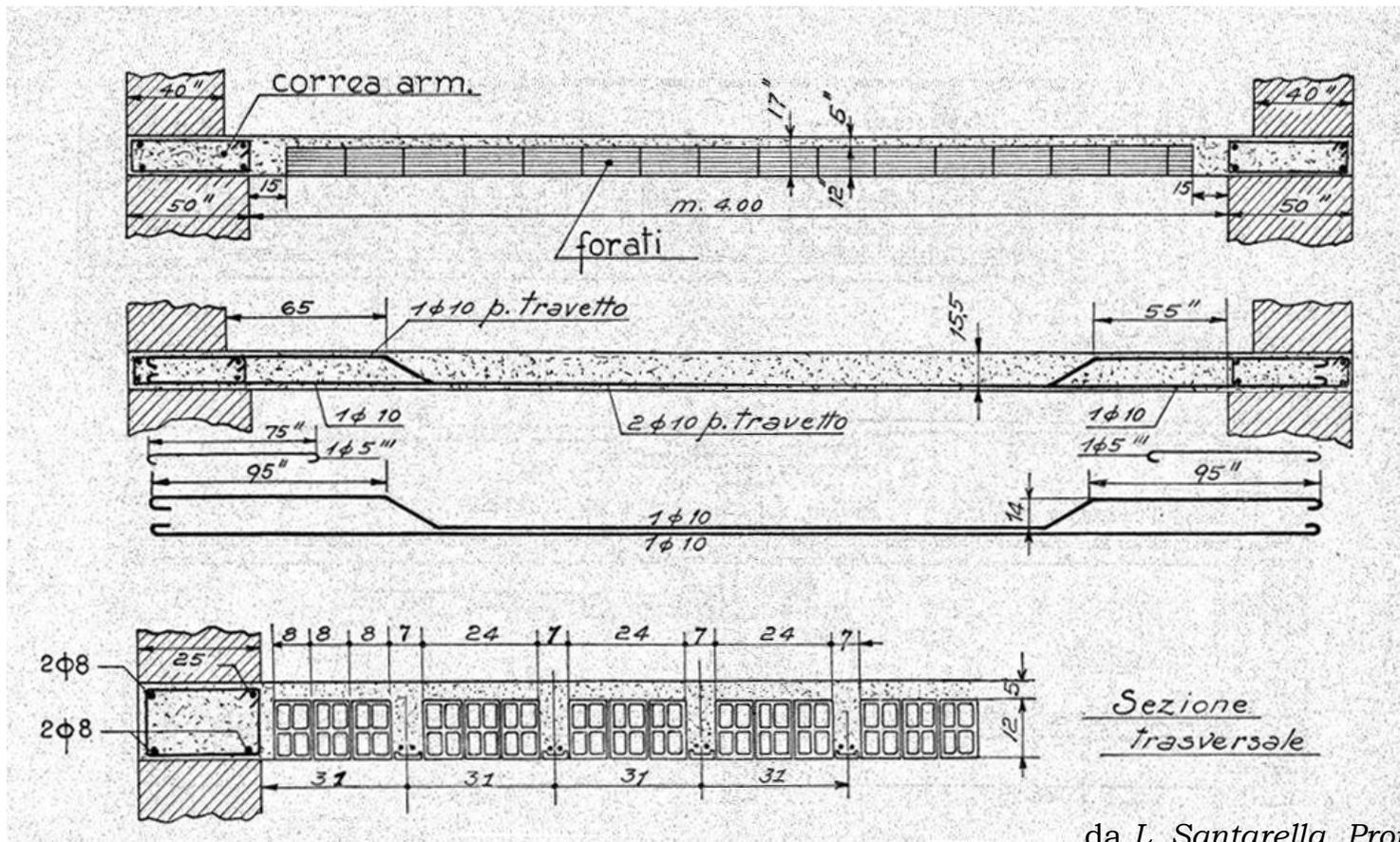
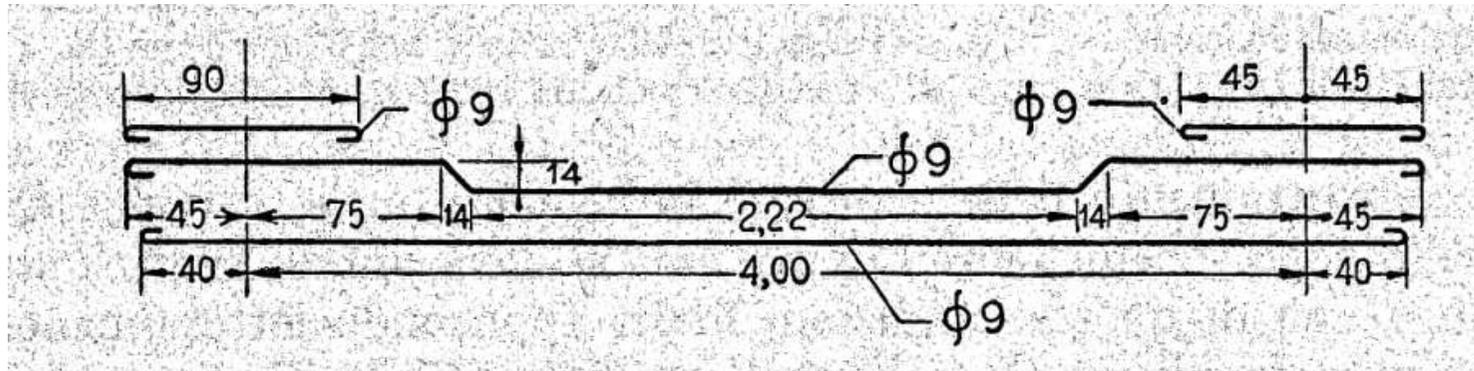
Altezza solaio	Armatura principale	Portate in m e relativi sovraccarichi in kg/m <sup>2</sup> (oltre al peso proprio)										Peso ferro kg/m <sup>2</sup>
		2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	
SAP 8	2 Ø 4	450	250	150	100	—	—	—	—	—	—	1,960
	3 Ø 4	725	450	275	175	75	—	—	—	—	2,450	
	2 Ø 5	800	500	325	200	100	75	—	—	—	3,100	
	3 Ø 5	1150	650	425	300	200	150	100	75	—	3,850	
SAP 12	2 Ø 4	775	450	250	150	75	—	—	—	—	1,960	
	3 Ø 4	1175	700	450	300	175	125	—	—	—	2,450	
	2 Ø 5	1400	850	550	350	250	150	100	—	—	3,100	
	3 Ø 5	1900	1175	775	525	375	250	175	125	—	3,850	
SAP 16	2 Ø 4	1200	700	450	300	200	125	75	—	—	1,960	
	3 Ø 4	1500	925	600	400	275	175	125	75	—	2,450	
	2 Ø 5	1700	1050	675	450	325	225	150	100	50	3,100	
	3 Ø 5	2250	1650	1100	775	550	400	300	225	175	100	3,850

Il Solaio SAP, della Ditta Rizzi, Donelli e Breviglieri (fig. 169) è costituito da travetti in laterizi armati con tondini di ferro acciaio ed eseguiti a piè d'opera, con successiva sigillatura in opera: consente l'eliminazione delle armature provvisorie, ma richiede un'esecuzione molto scrupolosa.

L'esperienza ha dato risultati veramente soddisfacenti, purchè i laterizi siano ben bagnati prima della confezione dei travetti, le sigillature dei tondini e delle facce contigue dei laterizi siano fatte con malta ricca di cemento (a 600-700 kg/m<sup>3</sup>) e i giunti in opera siano accuratamente sfalsati.

In mancanza di tali precauzioni i solai a travetti prefabbricati risultano tra i meno sicuri per la progressiva ossidazione dei tondini d'armatura e conseguente riduzione della loro sezione, prodotte da una sigillatura inefficace. Nella tab. XLVI sono indicate le armature comunemente adottate nella pratica costruttiva e costituite da ferro acciaio avente una  $\sigma_r = \text{kg/mm}^2 74$ .

da V.Serao & F.Rossi, Costruzioni - Ed. Cremonese (1955)



da L. Santarella, *Prontuario del cemento armato* (1968)

Norma	Calcestruzzo		Acciaio			
	Rottura [kg/cm <sup>2</sup> ]	Ammissibile [kg/cm <sup>2</sup> ]	Rottura [kg/cm <sup>2</sup> ]	Snervamento [kg/cm <sup>2</sup> ]	Ammissibile [kg/cm <sup>2</sup> ]	Allungam. [%]
<b>R.D. 16.11.1939</b> (*) 	120-350	35-60	4200 5000 6000	2300 (dolce) 2700 (semiduro) 3100 (duro)	1400 2000 2000	20 (A5) 16 (A5) 14 (A5)
<b>D.M. 30.05.1972</b> (**)	150-500	60-147 (fless.ne) 42-103 (compr.ne)	FeB22 3400 FeB32 5000 A 38 4600 A 41 5000 FeB44 5500	2200 3200 3800 4100 4400	1200 1600 1900 nc 2200 c 2000 nc 2400 c 2200 nc 2600 c	24 (A5) 23 (A5) 14 (A5) 14 (A5) 12 (A5)
<b>D.M. 30.05.1974</b>	<i>invariata</i>	<i>invariata</i>	<i>invariata</i>	<i>invariata</i>	<i>invariata</i>	<i>Invariato</i>
<b>D.M. 16.06.1976</b>	<i>invariata</i>	<i>invariata</i>	FeB22 3400 FeB32 5000 FeB38 4600 FeB44 5500	2200 3200 3800 4400	1200 1600 1900 nc 2200 c 2200 nc 2600 c	24 (A5) 23 (A5) 14 (A5) 12 (A5)
<b>D.M. 26.03.1980</b>	<i>invariata</i>	<i>invariata</i>				
<b>D.M. 27.07.1985</b>	<i>invariata</i>	<i>invariata</i>	<i>invariata</i>	<i>invariata</i>	<i>invariata</i>	<i>invariato</i>
<b>D.M. 14.02.1992</b>	<i>invariata</i>	<i>invariata</i>	<i>invariata</i>	<i>invariata</i>	<i>invariata</i>	<i>invariato</i>
<b>D.M. 09.01.1996</b>	150-550	<i>invariata</i>	<i>invariata</i>	<i>invariata</i>	<i>invariata</i>	<i>invariato</i>
<b>D.M. 14.01.2008</b>	≥ C16/20	---	5400	4500	---	≥ 2.5 (A <sub>gt</sub> ) <sup>(1)</sup>

(\*) Valori medi delle resistenze

(\*\*) Sono introdotti: valori caratteristici delle resistenze, barre ad aderenza migliorata

<sup>(1)</sup> Acciaio B450A

Norma	Metodo di calcolo	Armatura longitudinale minima	Armatura trasversale	Ricoprimento minimo
<b>R.D. 16.11.1939</b>	Tensioni ammissibili [n = 6-10]	<i>minimo assente</i>	50% staffe 50% sagomati	2 cm (*)
<b>D.M. 30.05.1972</b>	Tensioni ammissibili [n = 10-15] Calcolo a rottura	$A_S=0.25\% A_{SEZ}$ (barre lisce) $A_S=0.15\% A_{SEZ}$ (barre a.m.)	Almeno 40% staffe	2 cm (*) 4 cm (amb.aggr.)
<b>D.M. 30.05.1974</b>	<i>invariato</i>	<i>invariata</i>	<i>invariata</i>	<i>invariato</i>
<b>D.M. 16.06.1976</b>	Tensioni ammissibili [n = 10-15] Stati limite	<i>invariata</i>	Almeno 40% staffe $A_{st} \geq 3 \text{ cm}^2/\text{m}$ $P_{st} \leq 0.8 d$	<i>invariato</i>
<b>D.M. 26.03.1980</b>	Tensioni ammissibili [n = 15] Stati limite	<i>invariata</i>	<i>invariata</i>	<i>invariato</i>
<b>D.M. 27.07.1985</b>	<i>invariato</i>	<i>invariata</i>	<i>invariata</i>	<i>invariato</i>
<b>D.M. 14.02.1992</b>	<i>invariato</i>	<i>invariata</i>	<i>invariata</i>	<i>invariato (**)</i>
<b>D.M. 09.01.1996</b>	<i>invariato</i>	<i>invariata</i>	Almeno 40% staffe $A_{st} \geq 0.1(1+0.15d/b)b$ $P_{st} \leq 0.8 d$	<i>invariato</i>
<b>D.M. 14.01.2008</b>	Stati limite	<i>numerose prescrizioni</i>	<i>numerose prescrizioni</i>	<i>diverse prescrizioni</i>

(\*) generico riferimento all'armatura resistente (\*\*) esplicito riferimento alla presenza delle staffe

Norma	Metodo di calcolo	Armatura longitudinale minima	Passo staffe massimo	Ricoprimento minimo
<b>R.D. 16.11.1939</b>	Tensioni ammissibili [n = 6-10]	0.8 % $A_{C,NEC}$ [ $A_{C,NEC} < 2000 \text{ cm}^2$ ] 0.5 % $A_{C,NEC}$ [ $A_{C,NEC} > 8000 \text{ cm}^2$ ] int.lin. $A_{C,NEC} = 2000-8000 \text{ cm}^2$	0.5 $b_{MIN}$ 10 $\Phi_{MIN}$	2 cm (*)
<b>D.M. 30.05.1972</b>	Tensioni ammissibili [n = 10-15] Calcolo a rottura	0.6-5.0% $A_{C,NEC}$ 0.3 $A_{C,EFF}$	25 cm 15 $\Phi_{MIN}$	2 cm (*) 4 cm (amb.aggr.)
<b>D.M. 30.05.1974</b>	<i>invariato</i>	0.6 % $A_{C,NEC}$ 0.3-5.0 $A_{C,EFF}$	<i>invariato</i>	<i>invariato</i>
<b>D.M. 16.06.1976</b>	Tensioni ammissibili [n = 10-15] Stati limite	<i>invariata</i>	<i>invariato</i>	<i>invariato</i>
<b>D.M. 26.03.1980</b>	Tensioni ammissibili [n = 15] Stati limite	0.8 % $A_{C,NEC}$	0.5 $b_{MIN}$ 10 $\Phi_{MIN}$	<i>invariato</i>
<b>D.M. 27.07.1985</b>	<i>invariato</i>	0.8 % $A_{C,NEC}$ 0.3-6.0 % $A_{C,EFF}$	25 cm 15 $\Phi_{MIN}$	<i>invariato</i>
<b>D.M. 14.02.1992</b>	<i>invariato</i>	<i>invariata</i>	<i>invariato</i>	<i>invariato (**)</i>
<b>D.M. 09.01.1996</b>	<i>invariato</i>	0.15 % $A_{C,NEC}$ 0.3- 6.0 % $A_{C,EFF}$	<i>invariato</i>	<i>invariato</i>
<b>D.M. 14.01.2008</b>	Stati limite	<i>numerose prescrizioni</i>	<i>numerose prescrizioni</i>	<i>diverse prescrizioni</i>

(\*) generico riferimento all'armatura resistente (\*\*) esplicito riferimento alle staffe

Norma	Spessore Minimo	Larghezza minima nervatura	Spessore minimo soletta	Armatura di ripartizione	Ricoprimento minimo
<b>R.D. 16.11.1939</b>	L/30 8 cm	7 cm	4 cm (*)	25% $A_{LON}$	0.8 cm soletta 2 cm travetti
<b>D.M. 30.05.1972</b>	L/30 8 cm	1/8 interasse	4 cm	20% $A_{LON}$	<i>invariato</i>
<b>D.M. 30.05.1974</b>	<i>invariato</i>	5 cm	<i>invariato</i>	<i>invariata</i>	<i>invariato</i>
<b>D.M. 16.06.1976</b>	<i>invariato</i>	5 cm	<i>invariato</i>	<i>invariata</i>	<i>invariato</i>
<b>D.M. 26.03.1980</b>	<i>invariato</i>	8 cm	<i>invariato</i>	<i>invariata</i>	<i>invariato</i>
<b>D.M. 27.07.1985</b>	L/25 [L/30 cap] 12 cm	<i>invariata</i>	<i>invariato</i>	<i>invariata</i>	<i>invariato</i>
<b>D.M. 14.02.1992</b>	<i>invariato</i>	<i>invariata</i>	<i>invariato</i>	<i>invariata</i>	<i>invariato</i>
<b>D.M. 09.01.1996</b>	<i>invariato</i>	<i>invariata</i>	<i>invariato</i>	<i>invariata</i>	<i>invariato</i>
<b>D.M. 14.01.2008</b>	---	---	<i>invariato</i>	<i>invariata</i>	<i>invariato</i>

**(\*) senza soletta purché i laterizi presentino rinforzi di conveniente spessore atti a sostituirla**

**R.D.L. 22.11.1937 n.2105  
in vigore fino agli anni '60**

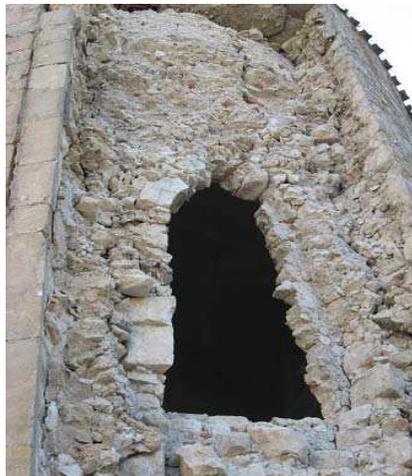
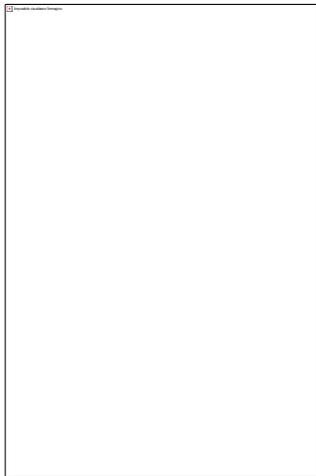
TAB. LI. — Spessori minimi dei muri per fabbricati asismici in muratura ordinaria (cm).

TIPO DELLA MURATURA E NUMERO DEI PIANI (compreso il piano terreno)	Massima altezza permessa in m	1ª CATEGORIA								2ª CATEGORIA								
		Interasse max muri portanti m 6 opp. interasse max muri m 12 e interasse max lesene di rinforzo m 5								Interasse max muri portanti m 7 opp. interasse max muri m 15 e interasse max lesene di rinforzo m 6								
		altezza netta dei piani								altezza del fabbricato								
		> m 3				< m 3				normale				< m 15				
		cantinato	1° (Piano terreno)	2°	3°	cantinato	1° (Piano terreno)	2°	3°	cantinato	1° (Piano terreno)	2°	3°	4°	cantinato	1° (Piano terreno)	2°	3°
<i>Muratura di mattoni:</i>																		
Fabbricati a 1 piano . . . . .	—	60	40	—	—	50	30	—	—	50	30	—	—	—	—	—	—	
Fabbricati a 3 piani . . . . .	9,00	75	55	40	—	65	45	30	—	65	45	30	—	—	—	—	—	
Fabbricati a 3 piani . . . . .	12,50	90	70	55	40	80	60	45	30	80	60	45	30	65	45	45	30	
Fabbricati a 4 piani . . . . .	16,00	non permesso				non permesso				95	75	60	45	30	—	—	—	
<i>Muratura di blocchi o di pietra- me listato:</i>																		
Fabbricati a 1 piano . . . . .	—	70	50	—	—	65	45	—	—	65	45	—	—	—	—	—	—	
Fabbricati a 2 piani . . . . .	9,00	85	65	50	—	80	60	45	—	80	60	45	—	—	—	—	—	
Fabbricati a 3 piani . . . . .	12,50	non permesso				non permesso				95	75	60	45	—	80	60	60	45

N. B. Per altezze maggiori è necessaria l'ossatura in cemento armato o metallica.

## La situazione attuale

- Una molteplicità di strutture incapaci di fronteggiare eventi sismici:
  - schemi strutturali inadatti
  - sensibilità ai collassi fuori piano
  - tessiture murarie inadeguate
  - murature di bassa resistenza
  - sistemi con spinta non assorbita
  - ... ecc. ...



Il prof. Franco Braga, tra i promotori dell'inserimento a suo tempo del miglioramento sismico in normativa e promotore dell'aggiornamento delle NTC approvato, nel 1993 affermava:

*“I terremoti sono perniciosi per il patrimonio monumentale italiano, non tanto per l'eccezionalità dei danni prodotti, quanto per il numero ed il tipo di interventi di riparazione e adeguamento antisismico che ad essi hanno fatto seguito ...”*

La storia recente ci racconta di **interventi strutturali**:

- invasivi e inadeguati (*anche con materiali non idonei*)
- non rispettosi dello schema strutturale originario
- non compatibili con il comportamento di una costruzione muraria
- non compatibili con le caratteristiche degli elementi strutturali presenti

*anche adottati solo per adeguarsi alle ipotesi dei metodi di analisi strutturale*

Ne sono un esempio gli interventi **proposti/imposti da normative e documenti tecnici** successivi ai terremoti del Friuli e dell'Irpinia-Lucania

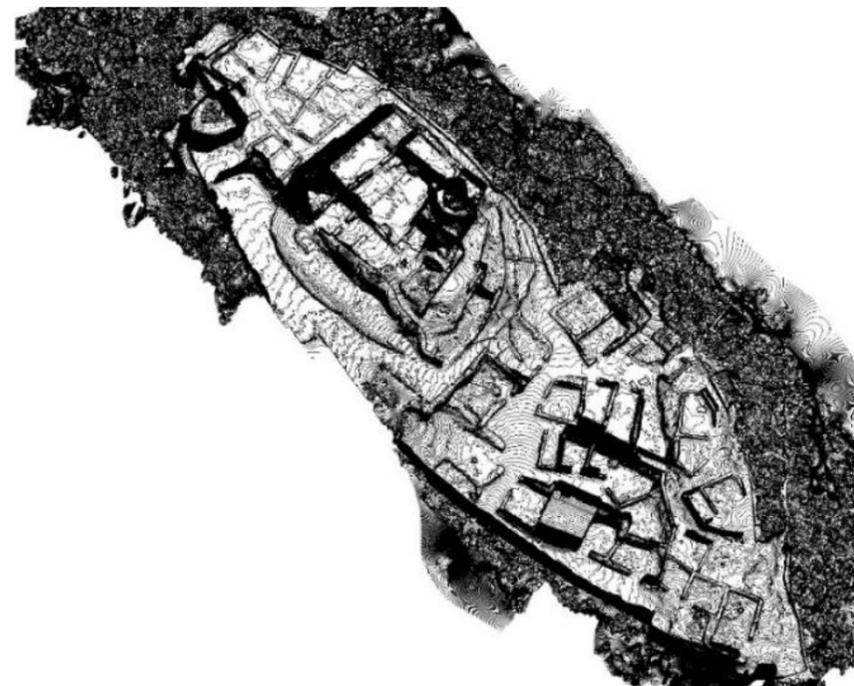
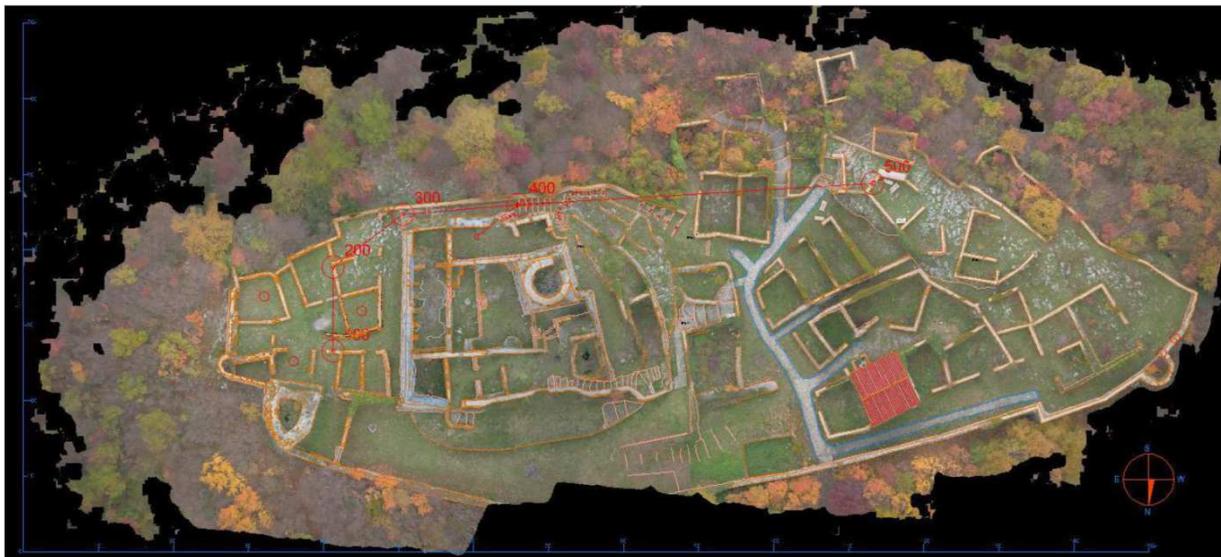
- *sostituzione di solai e coperture lignee con strutture in c.a.*
- *realizzazione di cordoli in c.a. (in breccia)*
- *disposizione di paretine in betoncino cementizio armato o in c.a. (con acciaio ordinario)*
- *perforazioni armate (in acciaio ordinario e boiaccia cementizia)*
- *inserimento di pilastri in c.a. in breccia nella muratura o di nuove strutture in c.a.*
- *realizzazione di controvolte in c.a.*
- *... ecc.*

### In sostanza

- **Uso scellerato e inconsulto del calcestruzzo armato**: maggiore peso e rigidezza, incompatibilità chimica, maggiore energia di frattura rispetto alla muratura (che in alcuni apparecchi murari può ridursi a quella della sola malta)
- **Modifica irrazionale degli schemi resistenti**: ricerca spasmodica di schemi vicini a quelli di altri materiali o a quelli di calcolo

<sup>(1)</sup> secondo una definizione del prof. Antonio Borri

## Rilievo geometrico: rilievi con droni e sistemi Osmo



**Un esempio: Il Borgo Medievale di Gioia Sannitica**  
(orto foto vettoriali, curve di livello e modello 3D)



Progetto Luccante



Società per le iniziative di recupero dei Centri Storici, dei Beni Architettonici, Ambientali e per il Turismo

arch. Mariano Nuzzo	prof.ing. Giuseppe Faella
arch. Marianna Aurilio	arch. Alfredo Balasco
ing. Vincenzo Basilicata	dott.sa Angela Bosco
arch. Serena Caldarelli	arch. Claudia Di Benedetto
arch. Veronica Formisano	arch. Ilaria Pontillo
arch. Irene Savinelli	arch. Ingrid Titomanlio

## Indagini in sito e caratterizzazione meccanica dei materiali

### Strutture in c.a.

- Carotaggi
- Metodi ultrasonici
- Prove di rimbalzo per metodo Sonreb
- Pull-out
- Break-off and pull-off
- Resistenza alla penetrazione
- Analisi chimiche
- Metodi magnetici
- Metodi elettrici
- Metodi micrometrici
- Termoluminescenza
- Termografia ad infrarossi
- Misure assorbimento, flusso e capillarità
- Misure tensionali e deformative
- Prove di carico
- ... ..

### Strutture in muratura

- Martinetti piatti
- Metodi sonici e/o ultrasonici (tomografici)
- Termografia ad infrarossi
- Indagini georadar
- Endoscopia
- Magnetometria
- Analisi vibrazionali
- Spettrometria
- Analisi petrografiche e chimiche
- Dosaggio dei sali
- Prove penetrometriche
- Prelievo di campioni
- Misure tensionali
- Quadri fessurativi
- Prove di carico
- ... ..

## Interpretazione dei risultati

Variabilità della resistenza dovuta a:

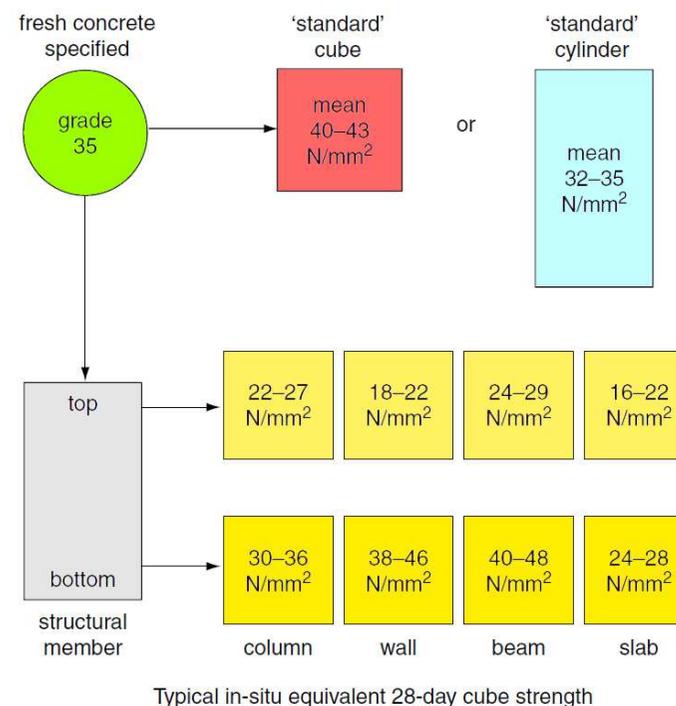
- caratteristiche proprie del materiale
- tipo di calcestruzzo
- modalità di getto e di compattazione
- condizioni di maturazione
- condizione di umidità  
(fino a +15% nel caso di provini umidi)
- dimensioni dei provini  
(da 150 a 100 mm incrementi fino al 5%)

	Disturbo	Snellezza	Diametro	Umidità	Barra
A.C.I.	●	●	●	●	
B.S. 1881		●			
Concrete Society	●	●			●
EN 13791 - NTC	●	●			

## Confronto con i provini standard

In genere la resistenza in sito (rapportata al provino cubico) è diversa (inferiore) da quella misurata in provini confezionati e maturati in condizioni standard

*NB: Le norme italiane non ne fanno cenno*



Typical relationship between standard specimen and in-situ strength

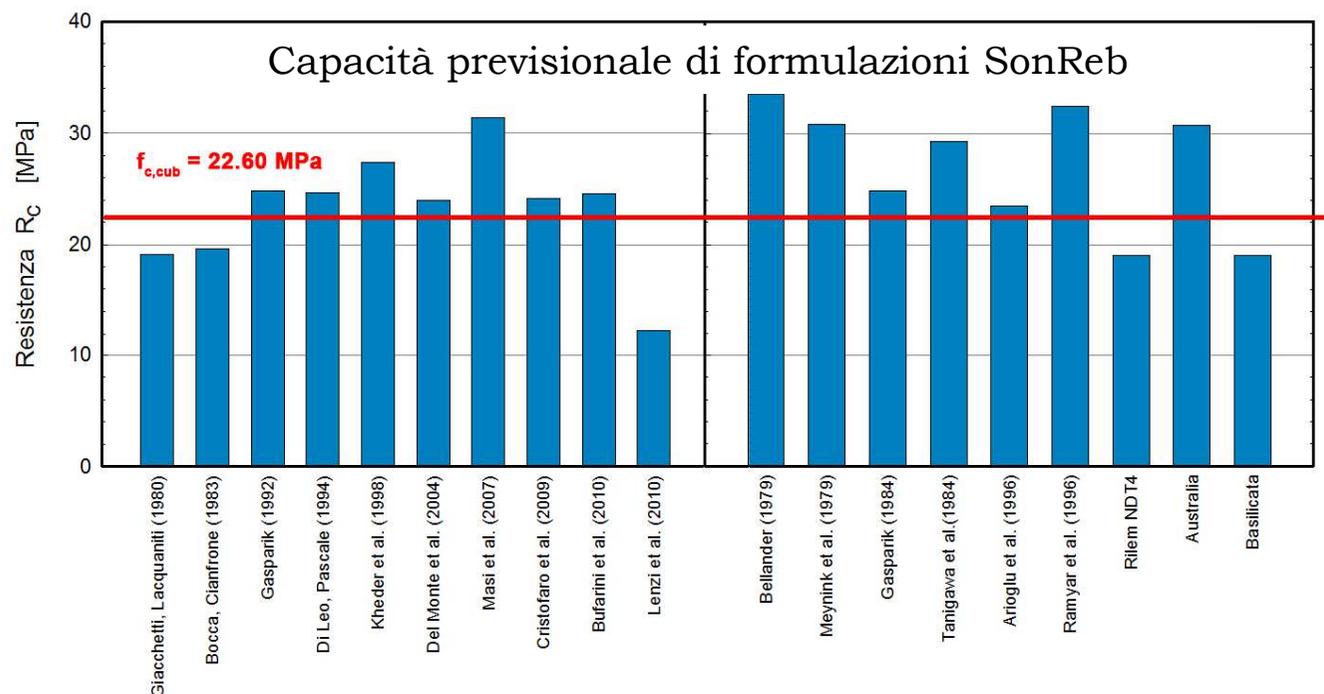
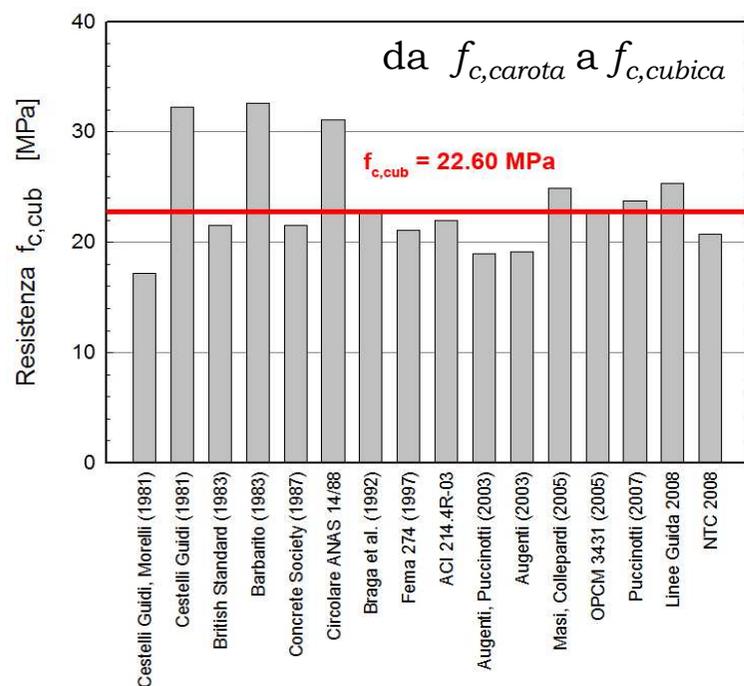
Member type	Typical 28-day in-situ equivalent wet cube strength as % of 'standard' cube strength	
	Average	Likely range
Column	65	55-75
Wall	65	45-95
Beam	75	60-100
Slab	50	40-60

- In letteratura e nei documenti normativi sono disponibili numerose formulazioni *sviluppate, per lo più, per calcestruzzi aventi “caratteristiche ricorrenti” (!!)*
- E' anche accertato che nessuna delle espressioni ha una validità generale *fornendo valori di resistenza con differenze dell'ordine anche del 30÷40% ne consegue una notevole difficoltà nella scelta della resistenza da utilizzare*
- Inoltre, molte formulazioni sono specificamente non valide per calcestruzzi di minore qualità

## Un esempio:

dati relativi a edifici a destinazione scolastica nella provincia di Caserta di costruzione anni '60÷'70

Resistenza media  $f_{c,carote} = 17.20 \text{ MPa}$



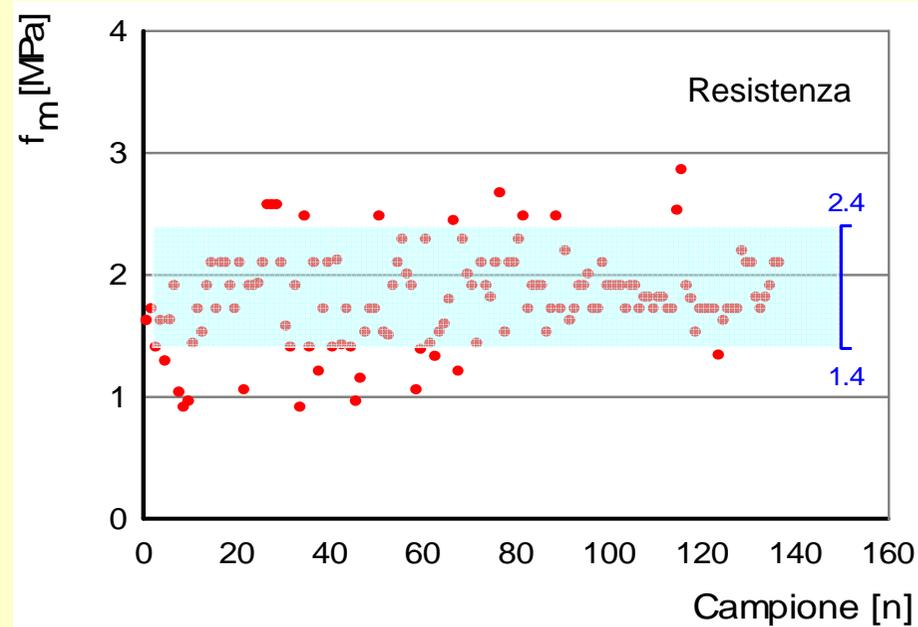
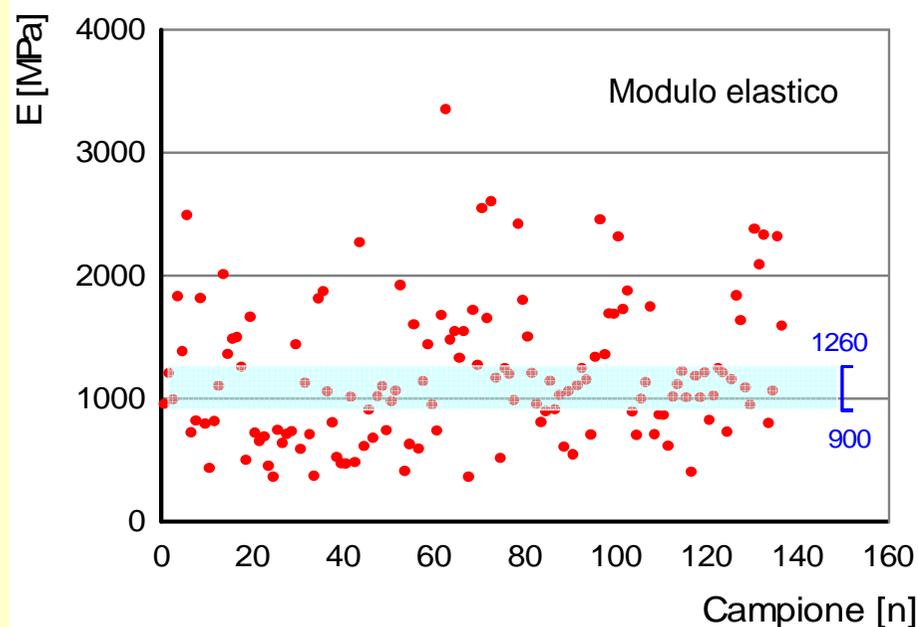
## Proprietà dei materiali:

- molteplicità di possibili indagini in sito

*tuttavia ...*

### Tufo giallo campano – prove con martinetti piatti doppi

137 prove su porzioni murarie su cui sono state effettuate anche prove soniche estratte da una banca dati di 1300 prove effettuate tra il 2009 e il 2014

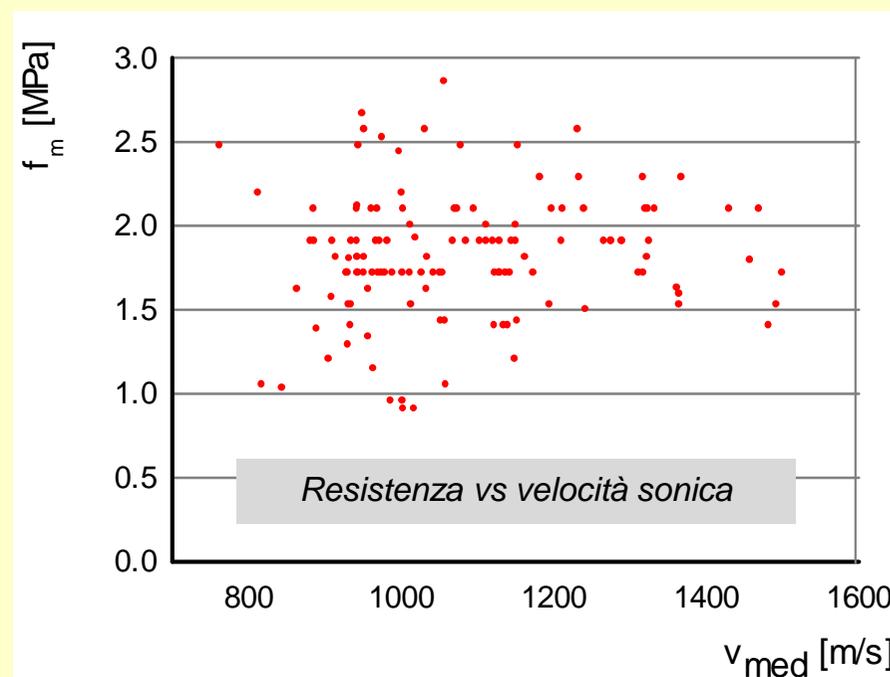
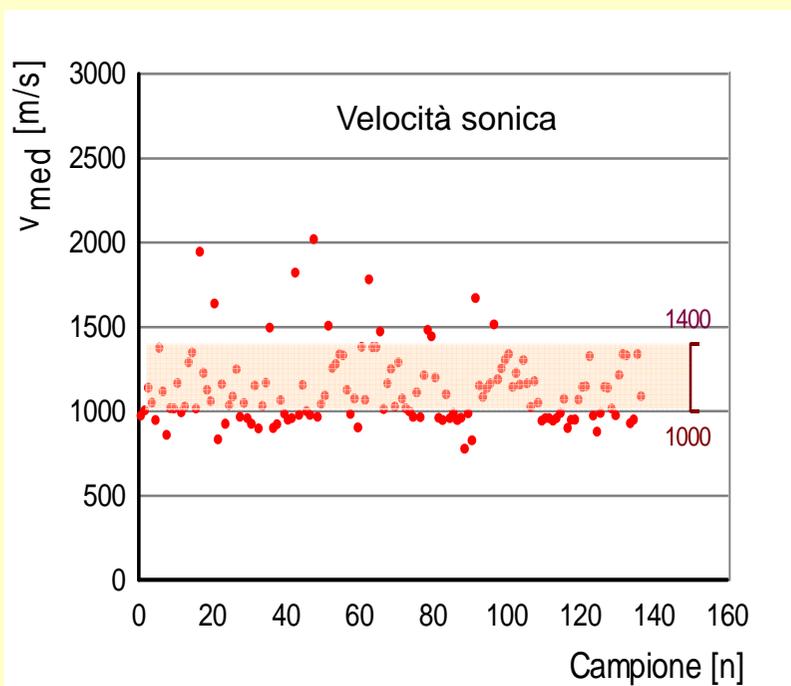


Intervallo Circolare n. 617/09

Nelle indagini, anche se in misura diversa, il passaggio critico è stabilire il rapporto tra risultati delle indagini sperimentali e valori della resistenza e del modulo elastico

## Tufo giallo campano – prove soniche

137 prove su porzioni murarie su cui sono state effettuate anche prove con martinetti  
*estratte da una banca dati di 1300 prove effettuate tra il 2009 e il 2014*



## Classificazione sismica: **edificio esistente**

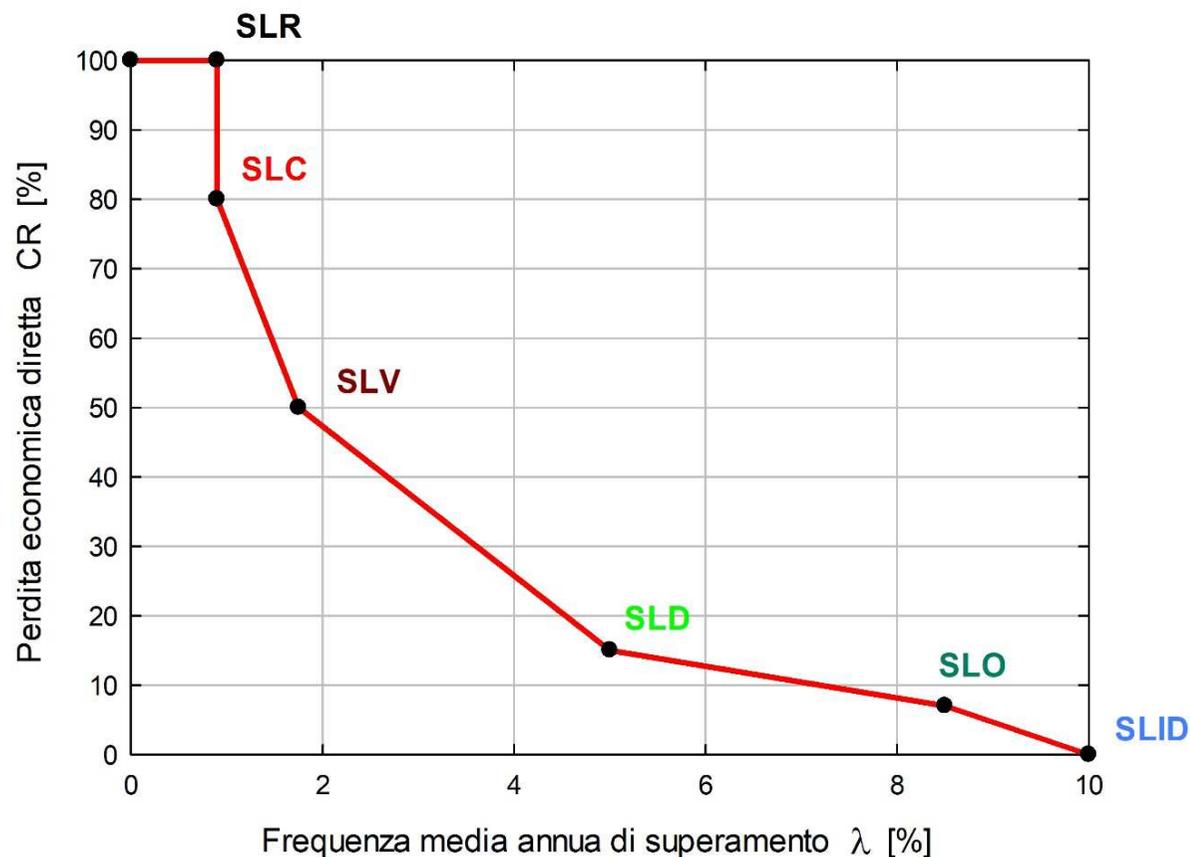
- Costruzione della curva che individua il PAM per un edificio esistente

Stato limite	Frequenza annuale $\lambda$	Percentuale Costo di Ricostruzione $C_R$
SLID	Convenzionale	0.00 %
SLO	Da calcolare o stimare (*)	7.00 %
SLD	Da calcolare	15.00 %
SLV	Da calcolare	50.00 %
SLC	Da calcolare o stimare (*)	80.00 %
SLR	Convenzionale	100.00%

Se si opera con modo approssimato, verificando solo due stati limite, le frequenze medie sono determinate:

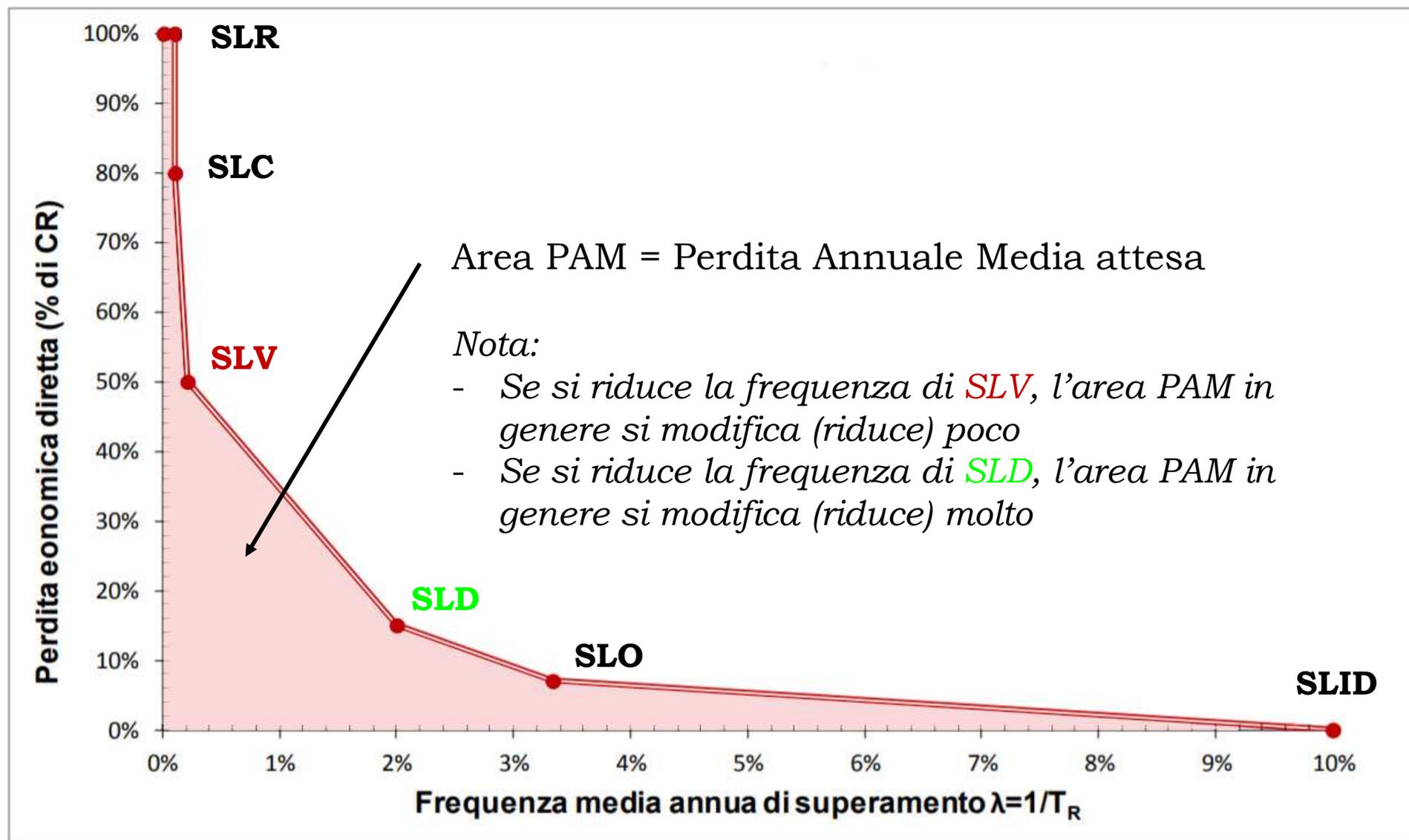
$$\lambda_{SLO} = 1.67 \lambda_{SLD}$$

$$\lambda_{SLC} = 0.49 \lambda_{SLV}$$



Costruzione della curva: oltre SLC è verticale fino a RC = 100 % ed orizzontale fino a  $\lambda = 0$  %

## Classificazione sismica: **area PAM**



## Classificazione sismica: **indice PAM e indice IS-V**

---

Le Linee Guida affrontano la classificazione del Rischio Sismico considerando un indice di natura economica (PAM) e un indice (IS-V) che, sebbene sia rappresentativo della risposta della struttura, intende essere legato anche alla salvaguardia delle vite umane

- Perché due indici di rischio? Conseguono l'obiettivo? L'indice IS-V è sufficientemente rappresentativo dell'effettivo rischio di perdita delle vite umane? Verso quali valori dovrebbero tendere?
  - *In genere si parla di danni diretti (danni subiti dalla costruzione) e danni indiretti (subiti dai beni contenuti) e separatamente di perdita in termini di vite umane*
  - *Per avere un unico indice di rischio, tutte le perdite, anche quelle umane, dovrebbero essere quantificate attraverso un unico parametro (es. di tipo economico)*
  - *Due indici di rischio, per essere efficaci, devono essere sufficientemente indipendenti tra di loro (l'impiego di uno non deve rendere superfluo la presenza dell'altro)*



- Recenti studi (\*) **hanno confermato** che **i due indici di rischio non sono correlati**, ossia che l'uno non può considerarsi rappresentativo anche dell'altro e che **IS-V è fortemente correlato alle perdite umane** (in base a documenti americani) e ben rappresentativo di tale aspetto del rischio

(\*) M. Dolce, C. Moroni, Classificazione del Rischio sismico: perché considerare due indici? InGenio 2017

## Classificazione sismica: **indice di sicurezza IS-V e classe effettiva**

- L'indice IS-V consente di **corregge progetti troppo sbilanciati** verso lo Stato Limite di Danno SLD, che non garantirebbero adeguatamente la sicurezza (Stato Limite SLV)
- Un **buon progetto di interventi strutturali** migliora il PAM in modo equilibrato e verifica adeguatamente anche l'indice IS-V

*Si dovrebbe definire la soluzione che comporta il migliore rapporto Costo/Beneficio nel raggiungere il miglioramento sismico desiderato, mantenendo la sicurezza sopra i livelli minimi prescritti*

### **CLASSE EFFETTIVA:**

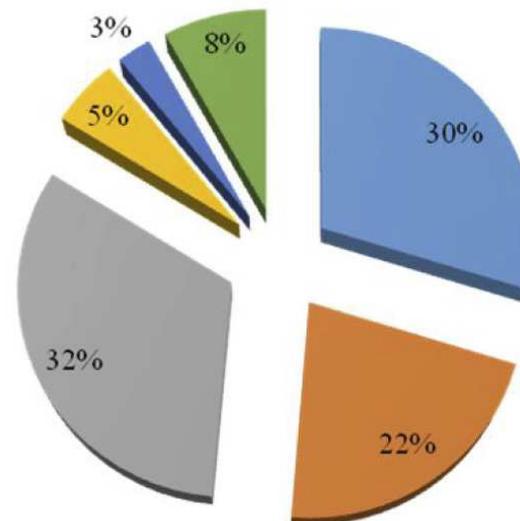
#### **MINIMO FRA LE DUE CLASSI PAM e IS-V**

<b>Perdita Media Annua attesa (PAM)</b>	<b>Classe PAM</b>	<b>Indice di Sicurezza (IS-V)</b>	<b>Classe IS-V</b>
$PAM \leq 0,50\%$	A+	$100\% < IS-V$	A+
$0,5\% < PAM \leq 1,0\%$	A	$100\% \leq IS-V < 80\%$	A
$1,0\% < PAM \leq 1,5\%$	B	$80\% \leq IS-V < 60\%$	B
$1,5\% < PAM \leq 2,5\%$	C	$60\% \leq IS-V < 45\%$	C
$2,5\% < PAM \leq 3,5\%$	D	$45\% \leq IS-V < 30\%$	D
$3,5\% < PAM \leq 4,5\%$	E	$30\% \leq IS-V < 15\%$	E
$4,5\% < PAM \leq 7,5\%$	F	$IS-V \leq 15\%$	F
$7,5\% < PAM$	G		

# Metodo semplificato: costruzioni in muratura dell'alto casertano

Tipologia di struttura	Classe di vulnerabilità					
	V <sub>6</sub> (≡A <sub>1,MS</sub> )	V <sub>5</sub> (≡B <sub>1,MS</sub> )	V <sub>4</sub> (≡C <sub>1,MS</sub> )	V <sub>3</sub> (≡D <sub>1,MS</sub> )	V <sub>2</sub> (≡E <sub>1,MS</sub> )	V <sub>1</sub> (≡F <sub>1,MS</sub> )
MURATURA Muratura di pietra senza legante (a secco)	○					
Muratura di mattoni di terra cruda (adobe)	○	—				
Muratura di pietra sbazzata	—	○				
Muratura di pietra massiccia per costruzioni monumentali		—	○	—		
Muratura di mattoni e pietra lavorata	—	○	—			
Muratura di mattoni e solai di rigidezza elevata		—	○	—		
Muratura rinforzata e/o confinata			—	○	—	

## Peculiarità negative incidenti



- Assenza di tirantature e/o cordoli non in c.a. [32 %]
- Elevata irregolarità in pianta e/o in altezza [30 %]
- Significativo degrado o danneggiamento [22 %]
- Spinte orizzontali non contrastate [8 %]
- Aperture di elevate dimensioni intervallate da maschi di piccole dimensioni [5 %]
- Presenza di nicchie che riducono in modo significativo l'area resistente delle pareti [3 %]

Nonostante abbiano qualità della muratura molto diverse, ricadono nella stessa classe di vulnerabilità

Classe di Rischio	PAM	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
A+*	$PAM \leq 0,50\%$				$V_1 \div V_2$
A*	$0,50\% < PAM \leq 1,0\%$			$V_1 \div V_2$	$V_3 \div V_4$
B*	$1,0\% < PAM \leq 1,5\%$	V <sub>1</sub>	$V_1 \div V_2$	V <sub>3</sub>	V <sub>5</sub>
C*	$1,5\% < PAM \leq 2,5\%$	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>6</sub>
D*	$2,5\% < PAM \leq 3,5\%$	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>	$V_5 \div V_6$	
E*	$3,5\% < PAM \leq 4,5\%$	V <sub>4</sub>	V <sub>5</sub>		
F*	$4,5\% < PAM \leq 7,5\%$	V <sub>5</sub>	V <sub>6</sub>		
G*	$7,5\% \leq PAM$	V <sub>6</sub>			

