



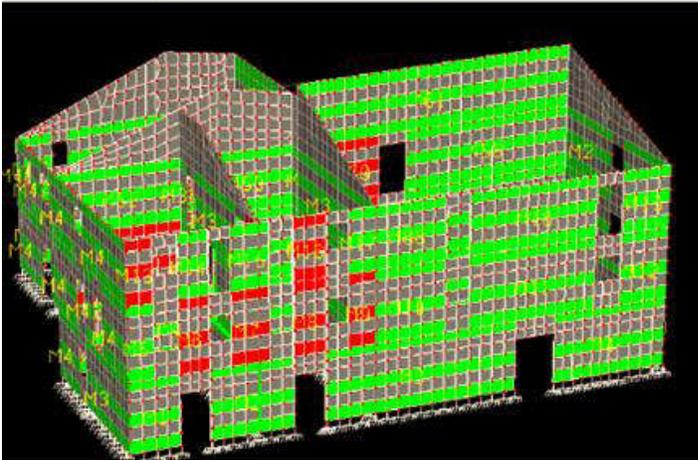
Seminario:

EDIFICI IN MURATURA: REALTA' DI DANNEGGIAMENTO E NORMATIVA TECNICA

5 GIUGNO 2024

ING. MAURIZIO COLOMBO

Studio MC Ingegneria



RECAP

- *ESPOSIZIONE TESI*
- *CROLLO DI EDIFICI MONOPIANO*
- *EFFETTI SISMICI DIVERSI PER EDIFICI IN PROSSIMITÀ*



ESPOSIZIONE TESI



Quattro edifici privi di danni

vs

Modellazione e verifica



(a) Municipio (Capitignano, AQ)



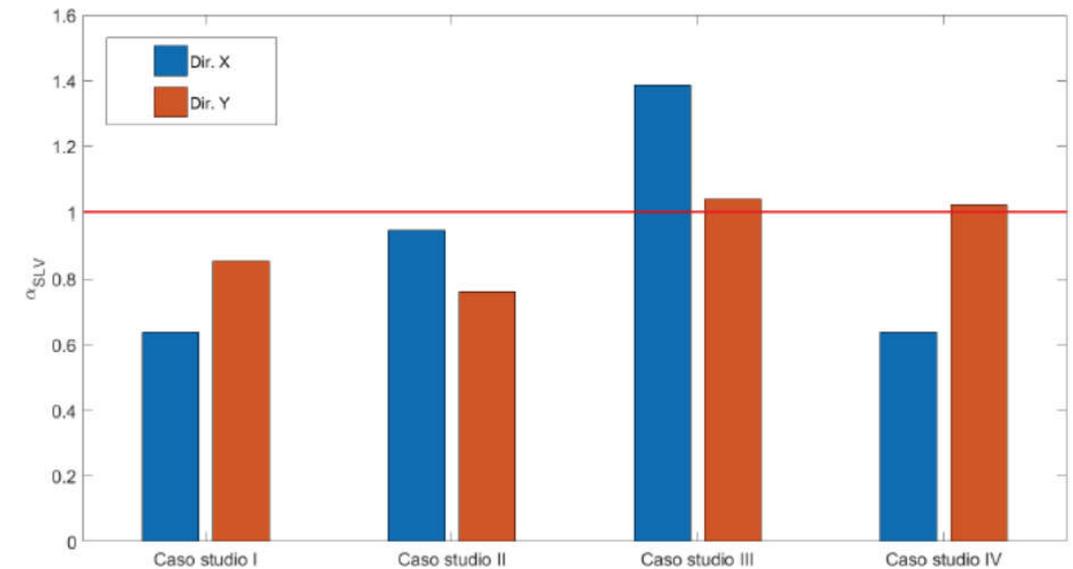
(b) Edificio residenziale (Amatrice, RI)



(c) Edificio residenziale (Accumoli, RI)



(d) Edificio residenziale (Amatrice, RI)



Verifica: LC3 + coeff. migliorativi



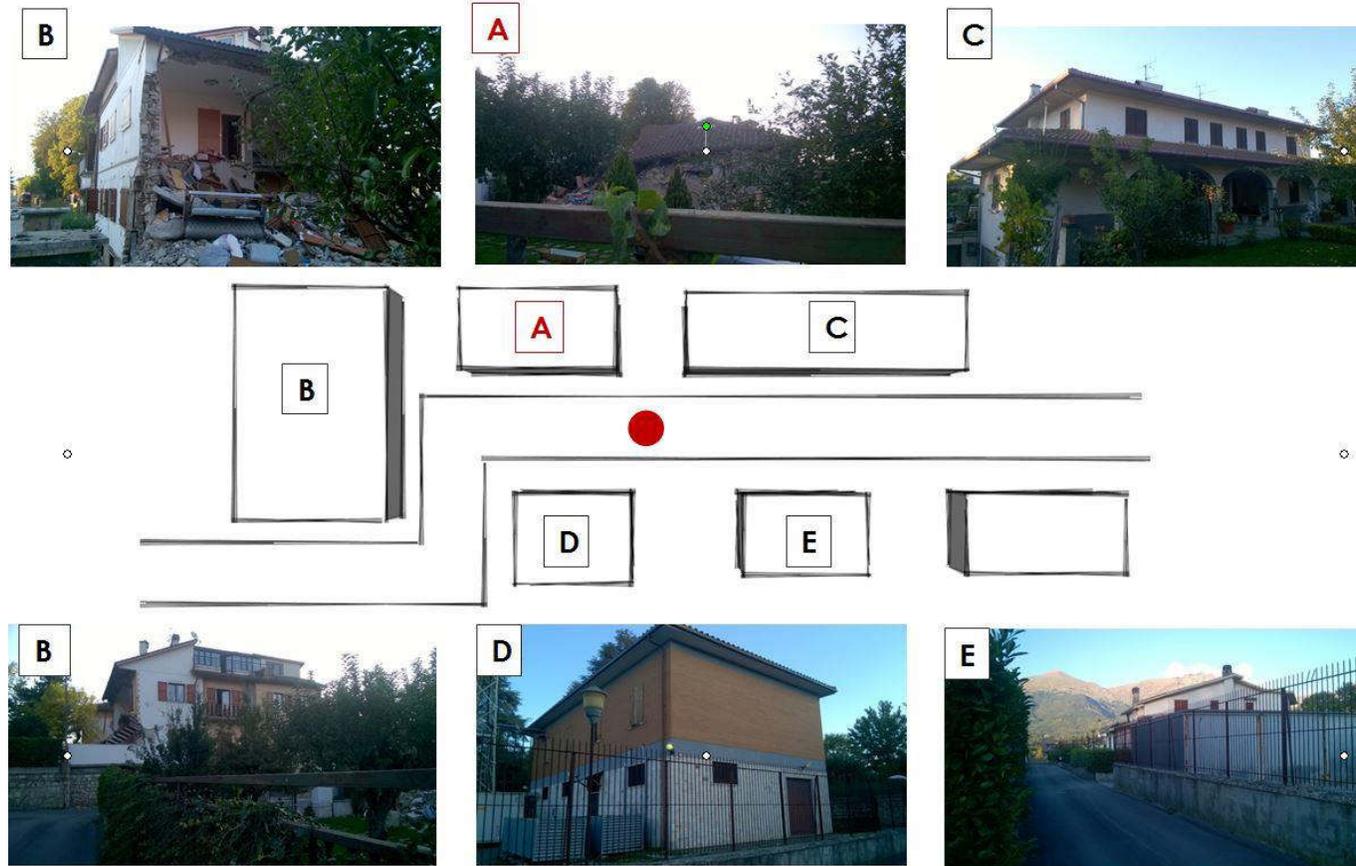
CROLLO DI EDIFICI MONOPIANO



Montegallo, Frazione Colle



EFFETTI SISMICI DIVERSI PER EDIFICI IN PROSSIMITA'



Amatrice

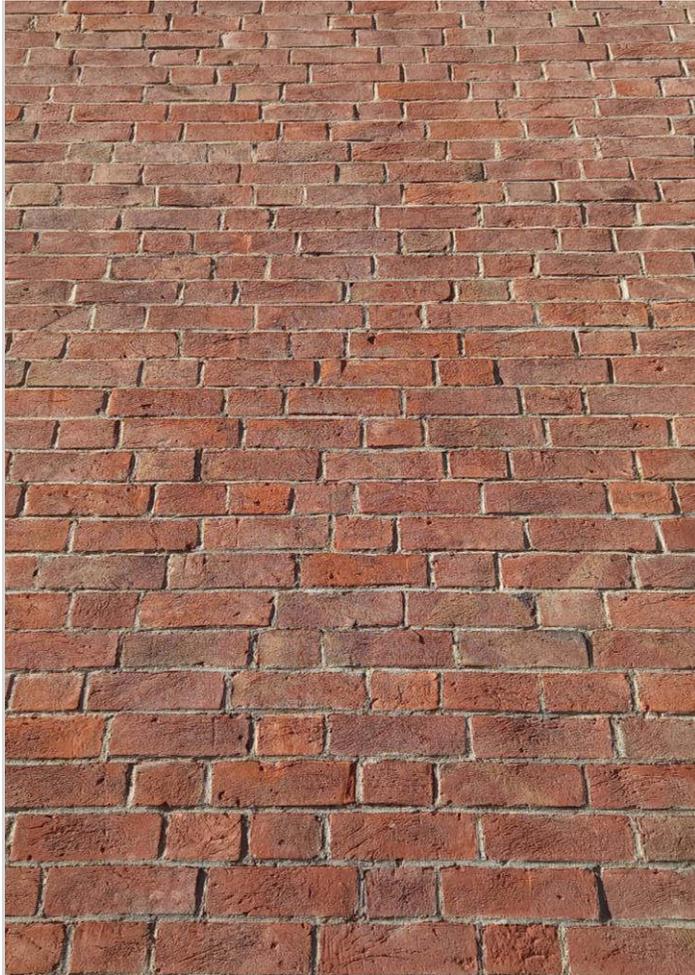


TABELLA MURATURE NTC 2018

- *AUMENTO DELLE PROPRIETA' MECCANICHE*
- *FOCUS SU EDIFICI SCADENTI E SU QUELLI IN MURATURA*
- *TIPOLOGIA DI CROLLI*
- *TIPI DI EDIFICI CROLLATI*



PARAMETRI MECCANICI MURATURA: VALORI DI RIFERIMENTO



Tipologia di muratura	f (N/mm ²)	τ_0 (N/mm ²)	f_{v0} (N/mm ²)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	w (kN/m ²)
	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

TAB C.8.5.I



AUMENTO DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE



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 squadrate	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

TAB C.8.5.II



FOCUS SU EDIFICI SCADENTI E SU QUELLI IN MURATURA



Tipologia di muratura	f (N/mm ²)
	min-max
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,0-2,0
Muratura in mattoni pieni e malta di calce (***)	2,6-4,3

Ipotesi di LC2:

$$\rightarrow f_m = 15 \text{ kg/cm}^2$$

$$\rightarrow f_m = 34.5 \text{ kg/cm}^2$$

- Rapporto di 1/2,3
- Si rispecchia anche nella realtà?

- E' veritiera la proporzione:
1 ed. in mattoni : 2,3 ed. in pietrame crollati?



FOCUS SU EDIFICI SCADENTI E SU QUELLI IN MURATURA



Montegallo, Frazione Colle

Nel caso in foto: un edificio monopiano con muratura di pietrame e piano rigido di copertura.

I parametri della Tab. C8.5.I avrebbero potuto permettere la verifica al sisma (magari raggiungendo un LC2 o LC3)

Ma se la qualità muraria è insufficiente:

→ **DISGREGAZIONE**

La norma potrebbe consentire la verifica dell'edificio globalmente ma la realtà dimostra il contrario per via delle criticità della tipologia muraria.



TIPOLOGIA DI CROLLI





TIPI DI EDIFICI CROLLATI



Crolli locali di elementi non strutturali (S. Angelo in Pontano)



Crolli locali all'incrocio delle ali di un edificio a C (Scuola ad Amatrice)



Crolli per disgregazione muraria (bassi IQM) (Amatrice)



TIPI DI EDIFICI CROLLATI

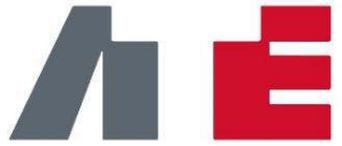


Crolli in edifici in C.A. con travi molto rigide e pilastri esili (Amatrice)



Danneggiamenti e apertura di fessure





TIPI DI EDIFICI CROLLATI



Edificio municipale – S. Angelo in Pontano



TIPI DI EDIFICI CROLLATI CROLLI NON PER I SISMI



DATA EVENTO	Località del crollo	Potenziale causa
23/04/2024	Crollo parziale di palazzina a San Giuseppe Jato (PA)	Ristrutturazione
02/04/2024	Crollo di parte del tetto di un edificio a Cuggiono (MI)	Manutenzione
29/03/2024	Crollo parziale di palazzina ad Agrigento	Manutenzione
21/03/2024	Crollo di solaio di palazzina a Trapani	Incendio
20/03/2024	Crollo di parte di un parapetto in tufo a Trani (BT)	Manutenzione
06/03/2024	Crollo di palazzina disabitata a Acqui Terme (AL)	Manutenzione
10/02/2024	Crollo di copertura a Santa Giustina in Colle (PD)	Manutenzione
09/02/2024	Rischio crollo di palazzina al Vomero (NA)	Perdita rete idrica
22/01/2024	Crollo di una palazzina a Rovereto sul Secchia (MO)	Esplosione gas
15/01/2024	Crollo di solaio e parete a Secondigliano (NA)	Manutenzione
06/01/2024	Crollo di una palazzina a Canale Monterano (Roma)	Esplosione gas
03/01/2024	Crollo di solaio in una palazzina a Castelmauro (CB)	Manutenzione
14/12/2023	Crollo parziale di un edificio a Cassano allo Jonio (CS)	Esplosione gas
11/11/2023	Crollo di una palazzina a San Lorenzo Nuovo (VT)	Esplosione gas
22/10/2023	Crollo di una palazzina ad Argenta (FE)	Esplosione gas
27/08/2023	Crollo parziale di palazzina a Soldano (IM)	Esplosione gas
31/07/2023	Crollo di una palazzina a Matera	Ristrutturazione
19/07/2023	Rischio crollo di solaio in palazzina a Brindisi	Manutenzione
16/07/2023	Crollo di una Palazzina a Torre del Greco (NA)	Ristrutturazione
15/07/2023	Crollo di una palazzina a Milano	Ristrutturazione



DISGREGAZIONE MURARIA E IQM

- *MURATURA – ELEMENTI E MALTE*
- *IMPORTANZA CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE*
- *LA QUALITÀ MURARIA – PER LA CATENA CINEMATICA*
- *GERARCHIA DELLE RESISTENZE*
- *DISGREGAZIONE E RESISTENZE*



MURATURA: ELEMENTI E MALTE



PIETRA e/o LATERIZIO

+

MALTA

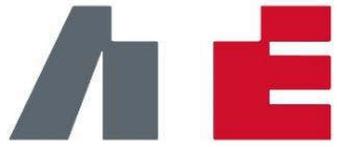
Forma e dimensione

Qualità

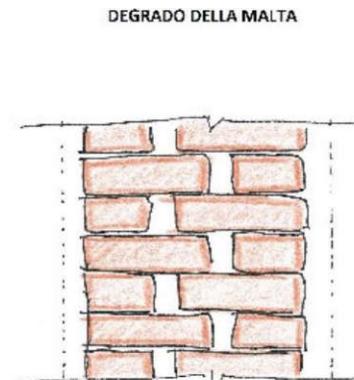
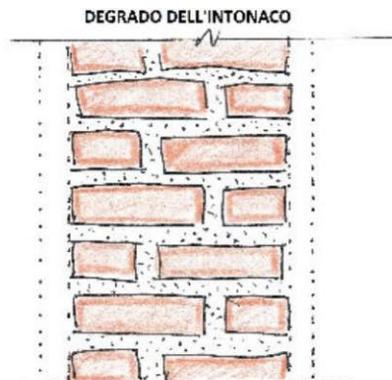
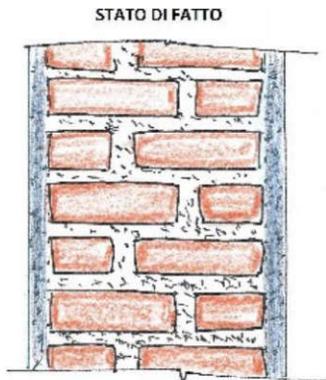
- Regolare
 - Irregolare
- Regolarizzazione superfici di appoggio
 - Resistenza alle azioni meccaniche
-

→ *Qualità Meccaniche Risultati*

→ *Comportamenti differenti in base al degrado*



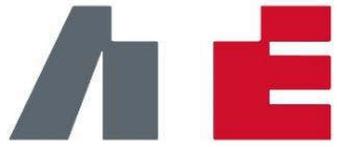
IMPORTANZA CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE



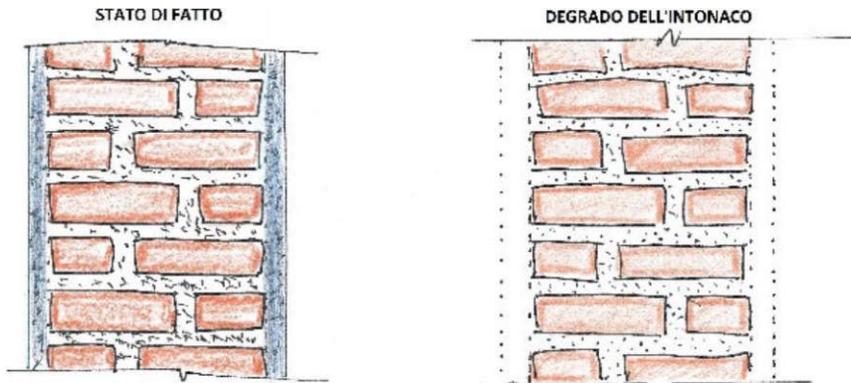
Comportamento della muratura in mattoni:

- I contatti sono verticali
- L'intonaco ha una funzione estetica e di protezione al degrado

COMPOSIZIONE	VIA L'INTONACO	VIA LA MALTA
Mattoni = Scheletro Malta = Muscolatura Intonaco = Pelle	Mattoni e malta stanno in posizione grazie alla loro forma	I mattoni si compattano ma mantengono la «forma» originaria



IMPORTANZA CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE



Comportamento della muratura in mattoni:

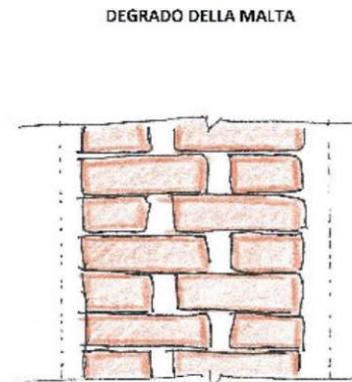
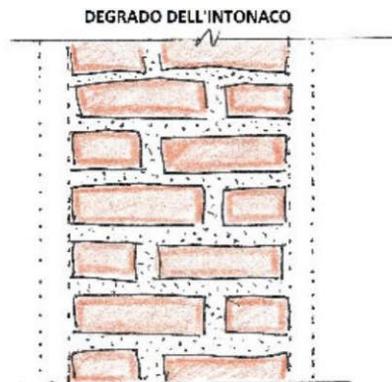
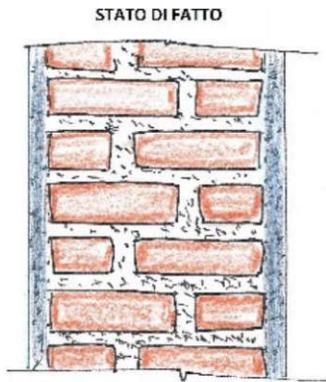
- Se l'intonaco viene meno, rimane la malta.
- I contatti e le spinte interne restano verticali.

→ **Equilibrio stabile**

COMPOSIZIONE	VIA L'INTONACO	VIA LA MALTA
Mattoni = Scheletro Malta = Muscolatura Intonaco = Pelle	Mattoni e malta stanno in posizione grazie alla loro forma	I mattoni si compattano ma mantengono la «forma» originaria



IMPORTANZA CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE



Comportamento della muratura in mattoni:

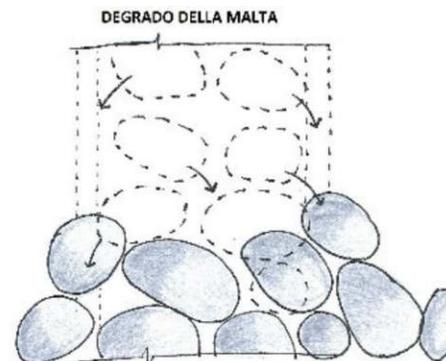
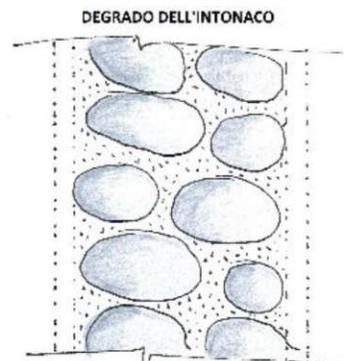
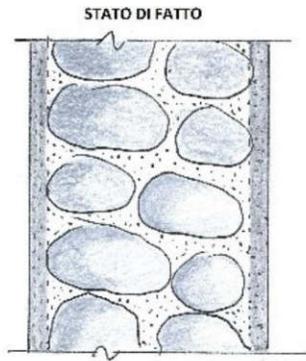
- Anche se si asportasse tutta la malta, la forma dei mattoni è tale da mantenere la verticalità.

→ **Non si va verso il crollo**

COMPOSIZIONE	VIA L'INTONACO	VIA LA MALTA
Mattoni = Scheletro Malta = Muscolatura Intonaco = Pelle	Mattoni e malta stanno in posizione grazie alla loro forma	I mattoni si compattano ma mantengono la «forma» originaria



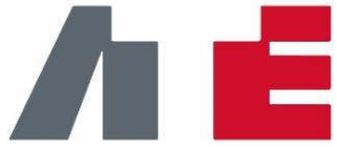
IMPORTANZA CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE



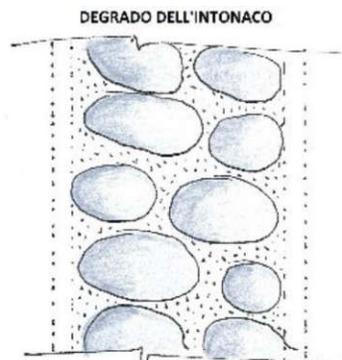
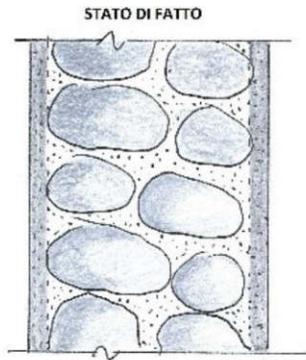
Comportamento della muratura in pietre stondate:

- I contatti stondati tra le pietre generano **pressioni radiali**.
- L'**intonaco**, oltre che una funzione estetica e di protezione ha anche una **funzione statica** di contenimento delle pressioni radiali.

COMPOSIZIONE	VIA L'INTONACO	VIA LA MALTA
Mattoni = Scheletro Malta = Muscolatura Intonaco = Pelle	Le Pietre esercitano sulla Malta delle forze radiali che non hanno contrasto all'esterno	Le Pietre rotolano una sull'altra e CROLLANO



IMPORTANZA CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE

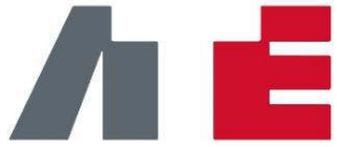


Comportamento della muratura in pietre stondate:

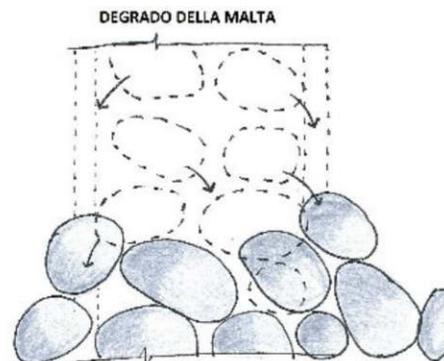
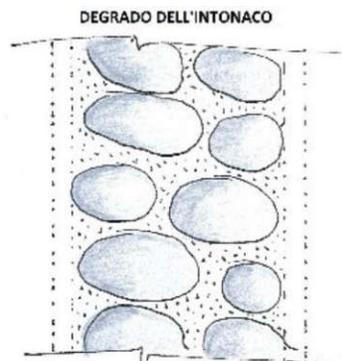
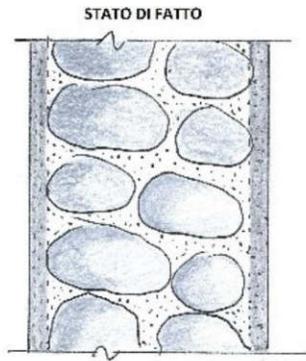
- Se l'intonaco viene meno, la **malta interna** deve essere in grado di riportare al suo interno le spinte radiali.

→ **Equilibrio precario**

COMPOSIZIONE	VIA L'INTONACO	VIA LA MALTA
Mattoni = Scheletro Malta = Muscolatura Intonaco = Pelle	Le Pietre esercitano sulla Malta delle forze radiali che non hanno contrasto all'esterno	Le Pietre rotolano una sull'altra e CROLLANO



IMPORTANZA CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE

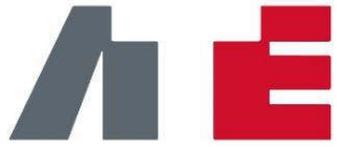


Comportamento della muratura in pietre stondate:

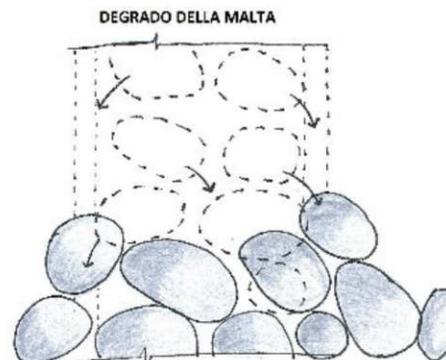
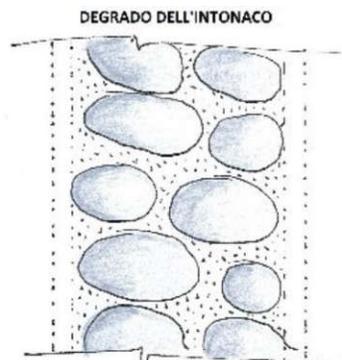
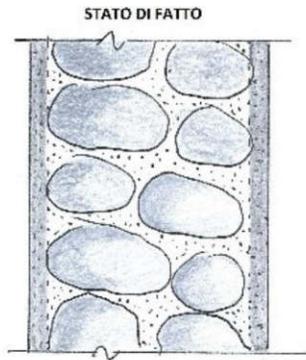
- Se si asporta la malta (o diventa terra), le pietre rotolano su se stesse perché ciascun contatto porta a pressioni radiali.

→ **Crollo per Disgregazione**

COMPOSIZIONE	VIA L'INTONACO	VIA LA MALTA
Mattoni = Scheletro Malta = Muscolatura Intonaco = Pelle	Le Pietre esercitano sulla Malta delle forze radiali che non hanno contrasto all'esterno	Le Pietre rotolano una sull'altra e CROLLANO



IMPORTANZA CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE



Comportamento della muratura in pietre stondate:

- Se si asporta la malta (o diventa terra), le pietre rotolano su se stesse perché ciascun contatto porta a pressioni radiali.

→ **Crollo per Disgregazione**

COMPOSIZIONE	VIA L'INTONACO	VIA LA MALTA
Mattoni = Scheletro Malta = Muscolatura Intonaco = Pelle	Le Pietre esercitano sulla Malta delle forze radiali che non hanno contrasto all'esterno	Le Pietre rotolano una sull'altra e CROLLANO

In senso lato si può affermare che

Disgregazione muraria = Liquefazione dei Terreni



IMPORTANZA CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE



Quando si parla di Disgregazione muraria nelle Normative?

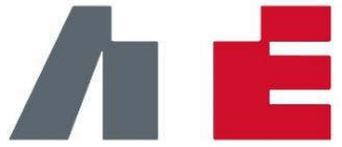
- Nelle NTC *non* viene citata.
- Nella Circolare viene citata due volte:

Nell'adozione degli eventuali coefficienti migliorativi si deve tenere conto delle caratteristiche delle malte utilizzate (cementizie o a calce) e delle armature (metalliche o in fibra). Infine, si segnala la necessità di una preventiva verifica che il paramento non evidenzi un'eccessiva disgregazione o presenza di vuoti, tale da rendere inefficace l'accoppiamento con l'intonaco armato; in questi casi è opportuno accoppiare l'intervento con iniezioni.

- ma ...riguarda l'efficacia dell'accoppiamento con intonaco armato
(... altro significato)

Per le verifiche che seguono, l'insieme di tali vincoli deve essere tale da costituire una catena cinematica a un grado di libertà, il cui atto di moto può essere descritto da un parametro di spostamento (o rotazione) virtuale infinitesimo. La rappresentazione della struttura come catena cinematica di corpi rigidi è attendibile solo se la parete non è vulnerabile nei riguardi di fenomeni di disgregazione.

- Qui si dice ciò che il Prof. Borri ha evidenziato nei suoi studi.



QUALITÀ DELLA MURATURA



La muratura tende a **disgregarsi** quando:

- malta povera
- elementi di forma irregolare e dimensioni medio-piccole
- paramenti scollegati tra loro

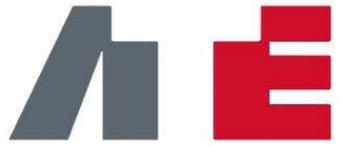
È incapace di **tenere insieme** gli elementi sotto le azioni dinamiche e cicliche

→ **IMPLODE SU SE STESSA**

Fonte: Prof. Borri



Montegallo, Frazione Colle



QUALITÀ DELLA MURATURA



Se la qualità è sufficientemente buona si hanno:

- coesione
- Ingranamento

Meccanismi resistenti e movimenti reciproci:

→ CATENE CINEMATICHES FRA ELEMENTI

→ **COMPORTAMENTO DI TIPO LOCALE**



Amatrice

Fonte: Prof. Borri



QUALITÀ DELLA MURATURA



- “Superati i controlli” sulle fragilità locali, ci si può spostare ai comportamenti globali.
- Se la qualità è insufficiente è inutile l’analisi con modelli numerici → Disgregazione risposta più probabile alle azioni sismiche.

Le resistenze vanno valutate in **ordine gerarchico** dalla scala del materiale fino a quella dell’edificio

- **Qualità Muraria** → evitare disgregamento
- **Catena Cinematica** → Mantenere l’equilibrio locale
- **Comportamento Globale della Struttura.**

Fonte: Prof. Borri



Amatrice



"GERARCHIA DEI MECCANISMI"



STEP	Situazione strutturale		Comportamento Sismico	Analisi più Adatta	Intervento Prioritario
Preliminare	CONOSCENZA DELLA COSTRUZIONE				
0	Muratura di qualità meccanica insufficiente		Disgregazione muratura	Valutazione qualità muraria	Migliorare la qualità della muratura e la sua coesione interna
1	Muratura di sufficiente qualità Assenza di collegamenti efficaci		Locale (formazione di cinematismi)	Analisi cinematica dei meccanismi di collasso Analisi per carichi verticali (solai, copertura) Ricognizione delle vulnerabilità locali	Inserire vincoli (catene, collegamenti, etc...) Rinforzo di solai e coperture (se necessario) Eliminare vulnerabilità
2	Muratura di sufficiente qualità e presenza di collegamenti efficaci e diffusi sull'intera costruzione	Impalcati deformabili	Complessivo (risposta d'insieme e carichi per zone d'influenza) Assenza di effetti torcenti globali	Analisi non lineare su modello 3D Analisi non lineare per allineamenti	Migliorare resistenza e capacità deformativa degli elementi resistenti
		Impalcati rigidi	Globale (risposta d'insieme e carichi proporzionali alle rigidzze) Presenza di effetti torcenti globali	Analisi non lineare su modello 3D	Migliorare resistenza e capacità deformativa degli elementi resistenti

Fonte: Prof. Borri



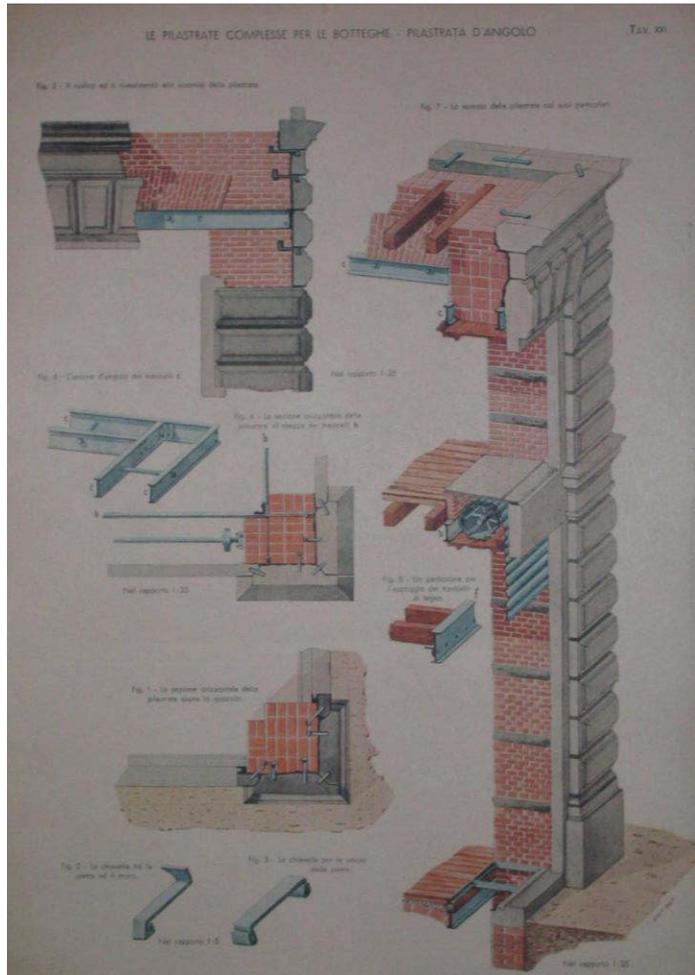
PARAMETRI INDICE QUALITÀ MURARIA (IQM)



PARAMETRI CONSIDERATI:

	Punteggi								
	IQM _V (azioni verticali)			IQM _{FP} (azioni fuori piano)			IQM _{NP} (azioni nel piano)		
	NR	PR	R	NR	PR	R	NR	PR	R
OR Orizzontalità dei filari	0	1	2	0	1	2	0	0.5	1
P.D. Ingranamento trasversale/presenza dei diatoni	0	1	1	0	1.5	3	0	1	2
F.EL. Forma degli elementi resistenti	0	1.5	3	0	1	2	0	1	2
S.G. Sfalsamento dei giunti verticali/ingranamento nel piano	0	0.5	1	0	0.5	1	0	1	2
D.EL. Dimensione degli elementi resistenti	0	0.5	1	0	0.5	1	0	0.5	1
MA Qualità della malta / efficace contatto fra elementi / zeppe	0	0.5	2	0	0.5	1	0	1	2
RE.EL. Resistenza degli elementi	0.3	0.7	1	0.5	0.7	1	0.3	0.7	1

- L'indice va a caratterizzare la qualità della muratura nel suo comportamento verticale, nel piano e fuori dal piano.
- I giudizi attribuiti ai parametri della regola dell'arte si trasformeranno in punteggi per tre valori di IQM in base alla direzione dell'azione sollecitante.
- Il valore $IQM_{FP} < 4$ delimita una soglia di riferimento nei confronti dei comportamenti di tipo disgregativo.

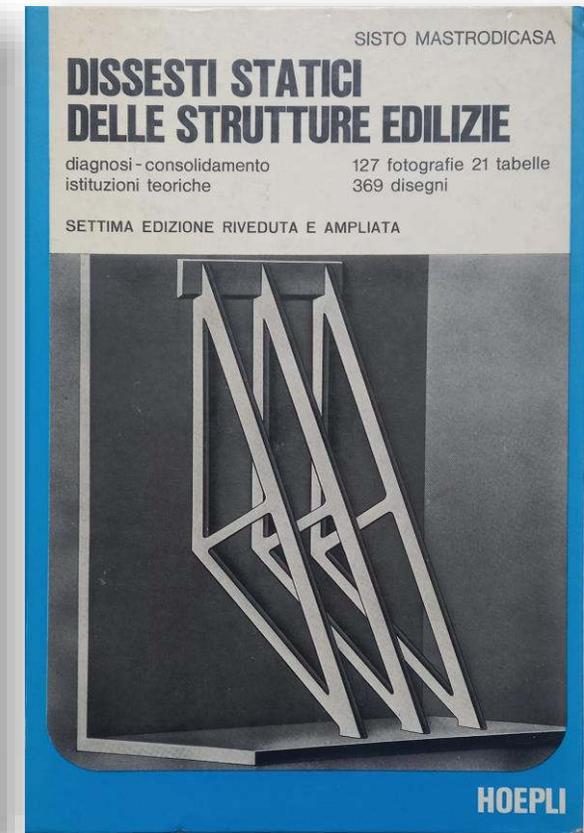
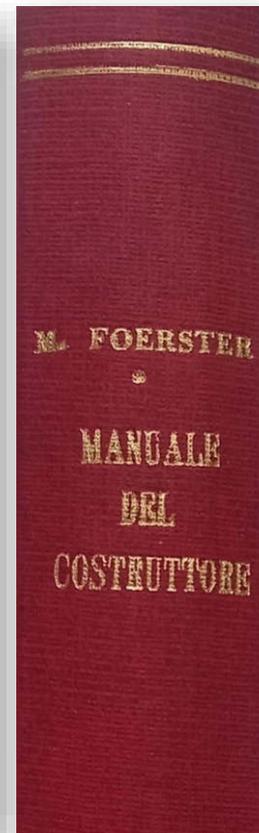
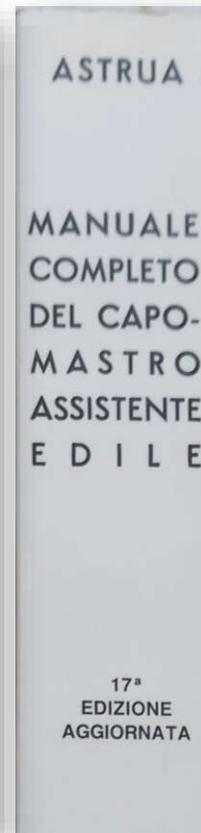


DISAMINA SULLA STATICA DEGLI EDIFICI IN MURATURA DI MATTONI

- *COME SONO STATI PROGETTATI*
- *MANUALE COLOMBO*
- *MANUALE FORMENTI CORTELLETTI*
- *MANUALE DEL COSTRUTTORE*
- *MASTRODICASA E ASTRUA*
- *COME SONO ARRIVATI A NOI*
- *COME SI OTTENGONO QUESTE INFO*



RIFERIMENTI STORICI





COME SONO STATI PROGETTATI



Gli edifici di più di 100 anni sono stati fatti con:

- Criteri **semi-empirici**
- Sulla base della **consuetudine** (mutuata dall'esperienza di edifici positivamente resistenti)
- Sulla base di **tabelle**



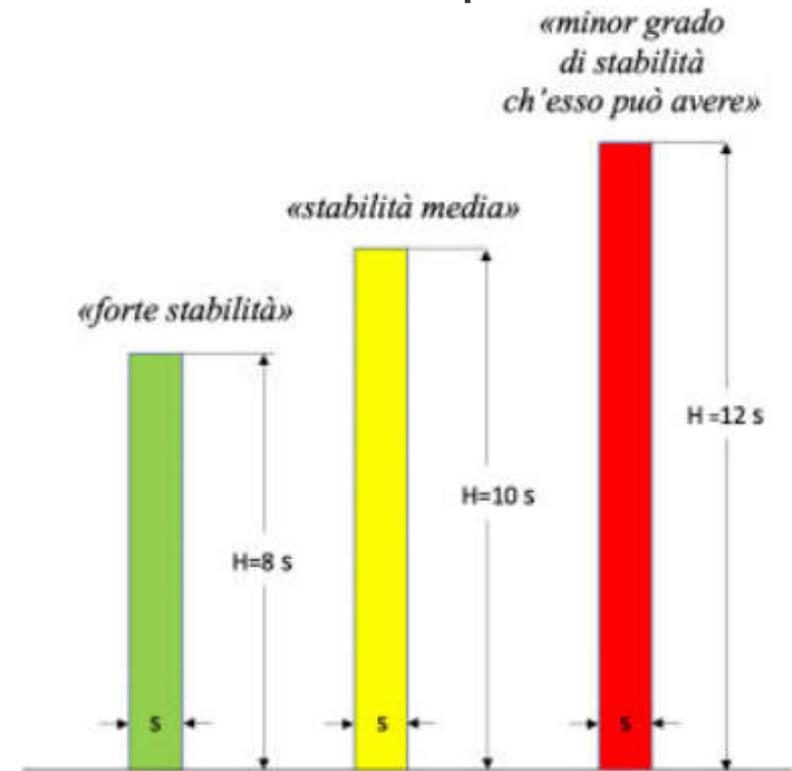
COME SONO STATI PROGETTATI



Eccentricità e snellezza → ricompresi nella scelta dello spessore

Spessore della muratura in base a:

- Numero di piani
- Altezze interpiano
- Materiale di costruzione



Stabilità della muratura secondo Rondelet

Fine '700 / inizi '800

NB. Unità il mm., salvo indicazione contraria.

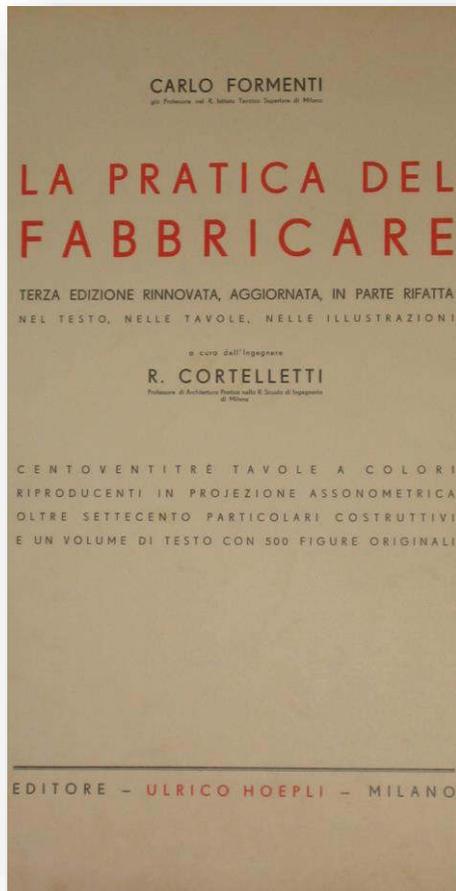
XXIX TABELLA. — COEFFICIENTI DI RESISTENZA
(Kil. per mmq. di sezione)

Materiale	Modulo di elasticità medio E	Carico di rottura R		Carico al limite di elasticità T	Carico di sicurezza K (vedi N.° 100)	
		Traz.	Compr.		Macch.	Costruz.
Pietre calcari e marmi	3500	0,3	2-5	—	—	0,25
Arenarie	2000	0,2	2-4	—	—	0,2
Puddinghe	—	—	1-3	—	—	0,15
Mattoni	—	0,1	0,6-1	—	—	0,06
Cemento	—	0,1	4	—	—	0,25
Calcestruzzo	—	0,05	0,6	—	—	0,1
Vetro	8000	3	15	—	—	0,8



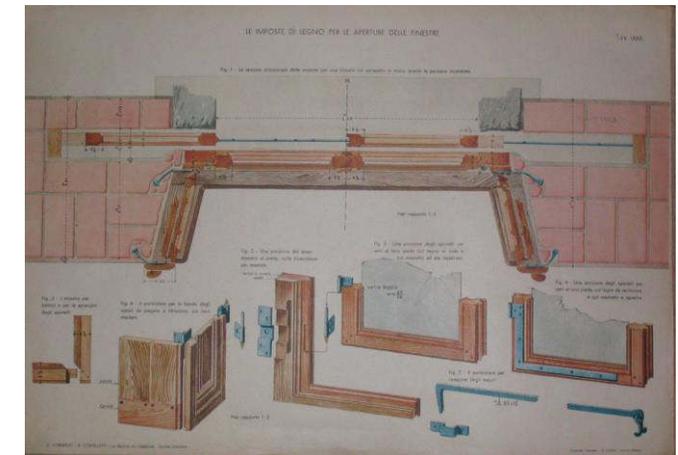
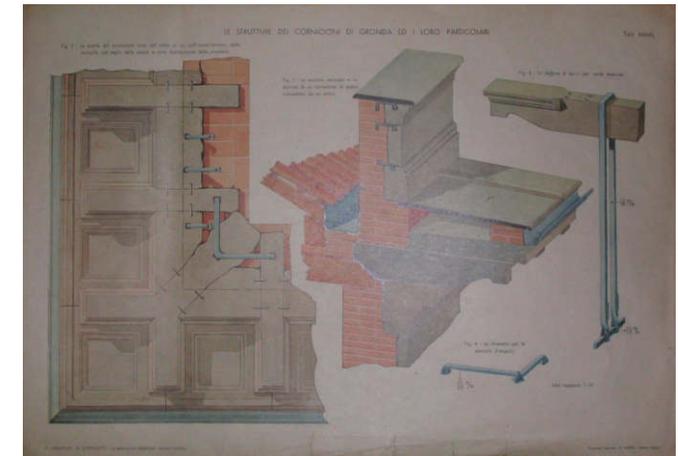


FORMENTI CORTELLETTI



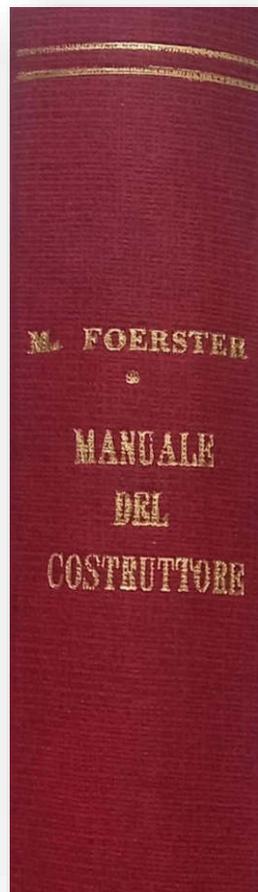
Ordinariamente, nelle case ad impalcature, i muri di telaio esterni, se sono di mattoni, hanno una grossezza nel sottotetto e nell'ultimo piano, che è di quattro teste, e che progressivamente viene aumentata di una testa, almeno ogni due dei piani inferiori, ritenuto che, la somma delle altezze dei piani considerati due a due, non superi gli 8 m.; i muri maestri interni, se di mattoni, hanno, nell'ultimo piano, una grossezza che è di tre teste, la quale viene essa pure aumentata di una testa ogni due dei piani inferiori. Le murature di mattoni, negli edifici

dei carichi, si ricorda che, il peso dei muri si ritiene compreso tra chg. 1800 e 2000 per m. c. se sono di mattoni, tra chg. 2200 e 2400 se sono di pietrame o di sassi, tra chg. 2400 e 2700 se sono di pietre compatte; che il carico fisso e mobile trasmesso ai muri dalle impalcature da solaio per m. q. di queste ultime, è compreso tra chg. 320 e 600, e che quello analogo dell'armatura del tetto e della copertura, è di circa chg. 300; e che infine il carico per c. m. q. di cui si possono con sicurezza gravare i muri, è di chg. 4 a 6 per le murature di mattoni comuni, di chg. 6 a 10 per le murature di mattoni delle migliori qualità o di pietre piuttosto resistenti, di chg. 10 a 15 per le murature di pietre, quali le arenarie o le calcari compatte, di chg. 15 a 30 per le strutture di pietre voluminose cristalline le più resistenti.





MANUALE DEL COSTRUTTORE



813

MURATURE CON CORDOLI E BOLLONI

7) **Muratura**

Muratura in laterizi in malta di calce 1:3	Carico di sicurezza alla pressione in kg/cmq	fino a	7
» » arenaria simile		» »	7
» » laterizi forti con malta di cemento bastarda, (1 cemento : 2 calce : 6-8 sabbia).		» »	12-15
» » klinker in malta di cemento 1 : 3		» »	25-30
» di fondazione in calcestruzzo costipato		» »	10-15
» di pietrame in malta di cemento 1 : 3		» »	25-30

Una buona fondazione può caricarsi fino con 3-4 kg/cmq. Per ammettere maggiori sollecitazioni devono istituirsi esperienze. Circa la *resistenza alla pressione* e simili dei predetti materiali da costruzione e analoghi cfr. il capitolo « Materiali da costruzione ».

c) Gli spessori dei muri per murature di mattoni sono in generale sempre divisibili per la metà lunghezza del mattone. Ecco una tavola che dà in m. gli spessori dei muri usati per le abitazioni:

	Muro frontale con aperture e appoggio di travi	Muro mediano con aperture e appoggio di travi	Muro di frontispizio senza aperture e senza appoggio di travi	Muro di colmo senza aperture e con appoggio di travi	Muro di frontispizio con aperture senza appoggio di travi	Muro di scala
--	--	---	---	--	---	---------------

a) per edifici d'abitazione

Sottotetto	25	—	25	25	25	25
4. piano	38	38	25	38	25	25
3. »	38	38	25	38	25	25
2. »	51	38	25	38	38	25
1. »	51	38	38	51	38	25
Pian terreno	64	51	38	51	51	38
Cantina	77	51	51	64	51	38

b) per stabilimenti

Sottotetto	25	—	25	25	—	25
4. piano	38	38	25	38	—	25
3. »	51	38	25	38	—	25
2. »	51	38	38	51	—	25
1. »	64	51	38	51	—	38
Piano terreno	77	51	51	64	—	38
Cantina	90	64	51	77	—	51

La resistenza alla pressione di mattoni ordinari normali deve essere > 200 kg./cmq. Talora secondo la resistenza si distinguono tre classi:

- Classe I: $k_a = 150 - 200$ kg./cmq. (Mattoni incotti);
 » II: $k_a = 200 - 300$ » (» mezzani);
 » III: $k_a = > 300$ » (» forti)

524 MATERIALI DA COSTRUZIONE

g) **Compressibilità** sotto carichi prolungati. Si determina la grandezza della compressione complessiva sotto un determinato carico, nonché le parti elastica e permanente, e finalmente il verificarsi delle screpolature. Questa prova è importante specialmente per pietre di sughero, linoleum, ecc.

h) **Resistenza alla pressione delle ruote** si determina impiegando una parte di un cerchione di ruota carico.

[Le ferrovie dello Stato italiane stabiliscono per le pietre artificiali le seguenti prescrizioni (1916):

1) **Mattoni per murature.**

Sotto classe	Denominazione	Resistenza allo schiacciamento sia all'asciutto che dopo imbibimento kg. p. cm ²	Quantità (*) ammessa di solfati alcalini solubili (espressa in g. di SO ₄ per kg. di mattone)	Resistenza al gelo ed all'azione dei solfati solubili
a)	Mattoni comuni sia a mano che a macchina	100	0.5	Sottoposti, nello stato di imbibimento ad alternazioni di temperatura da - 15° a + 35° e, quando il tenore di solfati superi il limite ammesso, alla azione della ricristallizzazione del solfato di soda, dovranno resistere per almeno 40 esperienze, sia in una prova che nell'altra senza dar luogo a disgregazioni né ad alterazioni qualsiasi.
b)	Mattoni forti sia a mano che a macchina	150	0.5	
c)	Mattoni sagomati e terre cotte ornamentali	150	0.2	
d)	Mattoni pressati per paramento	200	0.2	
e)	Mattoni forati per tramezzi e murature	sulla superficie totale premuta	25	
		sulla superficie dello costole esclusi i vani	150	



ASTRUA E MASTRODICASA



202

3. Muri di elevazione.

La solidità dei muri, che deve corrispondere con larga sicurezza al compito di portare col peso proprio e quello degli orizzontamenti (volte, solai, pavimenti) quello delle coperture nonché il carico accidentale (persone, mobili ed eventuali), riposa sopra tre fattori essenziali oltre che sull'adeguato spessore, del quale il debito conto è stato tenuto dal progettista, e cioè: ottima qualità dei mattoni o della pietra, ottima qualità della malta e perfetta esecuzione. Conosciamo quali siano le qualità adatte e buone del mattone e della pietra da muro; dobbiamo curarne la posa in opera. Inutile un materiale ottimo se la esecuzione è deficiente, inutile il laterizio o la pietra ottima se la malta è di cattiva qualità.

Le calci grasse non sono buone per le murature, a meno che non vengano manipolate con la pozzolana, la quale abbiamo visto ha la virtù di renderle fortemente idrauliche. Per fare una buona muratura pertanto si userà, quando impiegata con sabbia, calce idraulica o forte. Per dare un'idea dell'importanza delle malte nelle strutture murarie osserveremo, come alcuni esperimenti sulla resistenza di strutture murarie dettero questi carichi di rottura:

Muratura di mattoni e malta di cemento e sabbia 1 : 3 = 95 kg/cm²
 Muratura di mattoni e malta di calce idraulica e sabbia 1 : 3 = 61 kg/cm²
 Muratura di mattoni e malta di calce aerea e sabbia 1 : 3 = 51 kg/cm²

Naturalmente dal carico di rottura al carico di sicurezza corre un largo margine, per cui nell'uso ci si limita ad una misura molto prudenziale, senza esagerare come talvolta osservato, insistendo invece molto sulla perfezione dell'esecuzione e sulla qualità dei materiali, compito questo riservato alla diligenza propria dell'assistente. Noi consiglieremo di considerare come carico di sicurezza rispettivamente 18, 12 e 10 kg, sempre che si siano osservate scrupolosamente le condizioni di una ottima esecuzione impiegando i migliori materiali o quanto meno 15-10-8.

Per i muri di elevazione abbiamo strutture interamente di pietrame, murature miste di pietrame e mattoni (muro listato) o muri interamente di mattoni.

Le murature interamente di pietrame non sono ormai più impiegate nelle strutture portanti o almeno nei muri di fabbrica — salvo nelle baite di montagna o rifugi alpini —; esse vengono

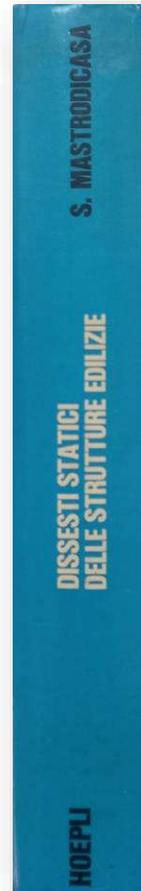


TABELLA 2.
Carichi di sicurezza alla compressione.

Numero d'ordine	Materiale	kg/cm ²
1	Legname di abete	50
2	» di quercia	80
3	» di faggio	80
4	» di pino comune	60
5	Ferro omogeneo	1200
6	Calcestruzzo di cemento	40
7	Muratura di mattoni pieni e malta di cemento	18



CON QUALI CARICHI: SOLAI



3. SOLAI

124. *Peso proprio e sovraccarico dei solai.*

1) *Peso proprio (carico permanente):*

a) *Per l'orditura del solaio (esclusi i travi maestri):*

Travicelli di legno e assito	in media al mq. kil.	35
Travicelli di ferro con sbadacchi e assito	» » »	40
Travicelli di ferro con vólte di quarto	» » »	250

Il peso del ferro al mq. nei solai metallici è di 16 ÷ 20 kil. pei solai leggeri, 20 ÷ 26 pei solai a vólte, 30 ÷ 50 pei solai con travi maestri.

b) *Pei pavimenti e soffitti:*

Pavim. di legno semplice colla sua armatura....	al mq. kil.	20 ÷ 30
Pavim. a tavolette (<i>parquet</i>) » » » »	» »	50 ÷ 80
Pavim. di piastrelle col suo letto	» »	60 ÷ 90
Soffitto di stuoie e intonaco semplice ..	» »	20 ÷ 30
Soffitto di correntini con stucchi.....	» »	70 ÷ 120

2) *Sovraccarico (carico accidentale):*

Solai leggeri (camere sottotetto ecc.)	al mq. kil.	80 ÷ 100
Solai ordinari (camere d'abitazione)....	» »	150 ÷ 180
Sale da ballo e di riunione ..	» »	250 ÷ 300
Opifici con macchine.....	» »	270 ÷ 350
Magazzini.	» »	400 ÷ 500

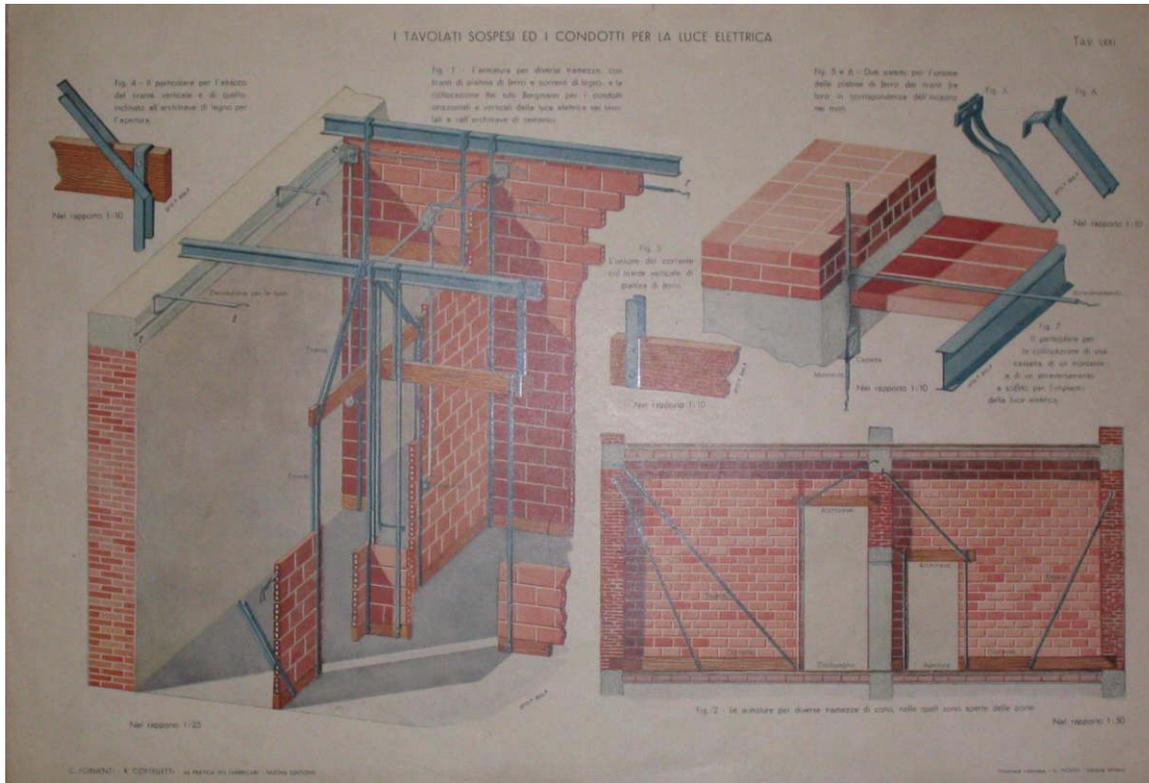
Considerando:

- Pesi propri 50 kg/m²
- Permanenti 210 kg/m²
- Variabili 180 kg/m²

- **Totale** ≈450 kg/m²



CON QUALI CARICHI: TRAMEZZATURE



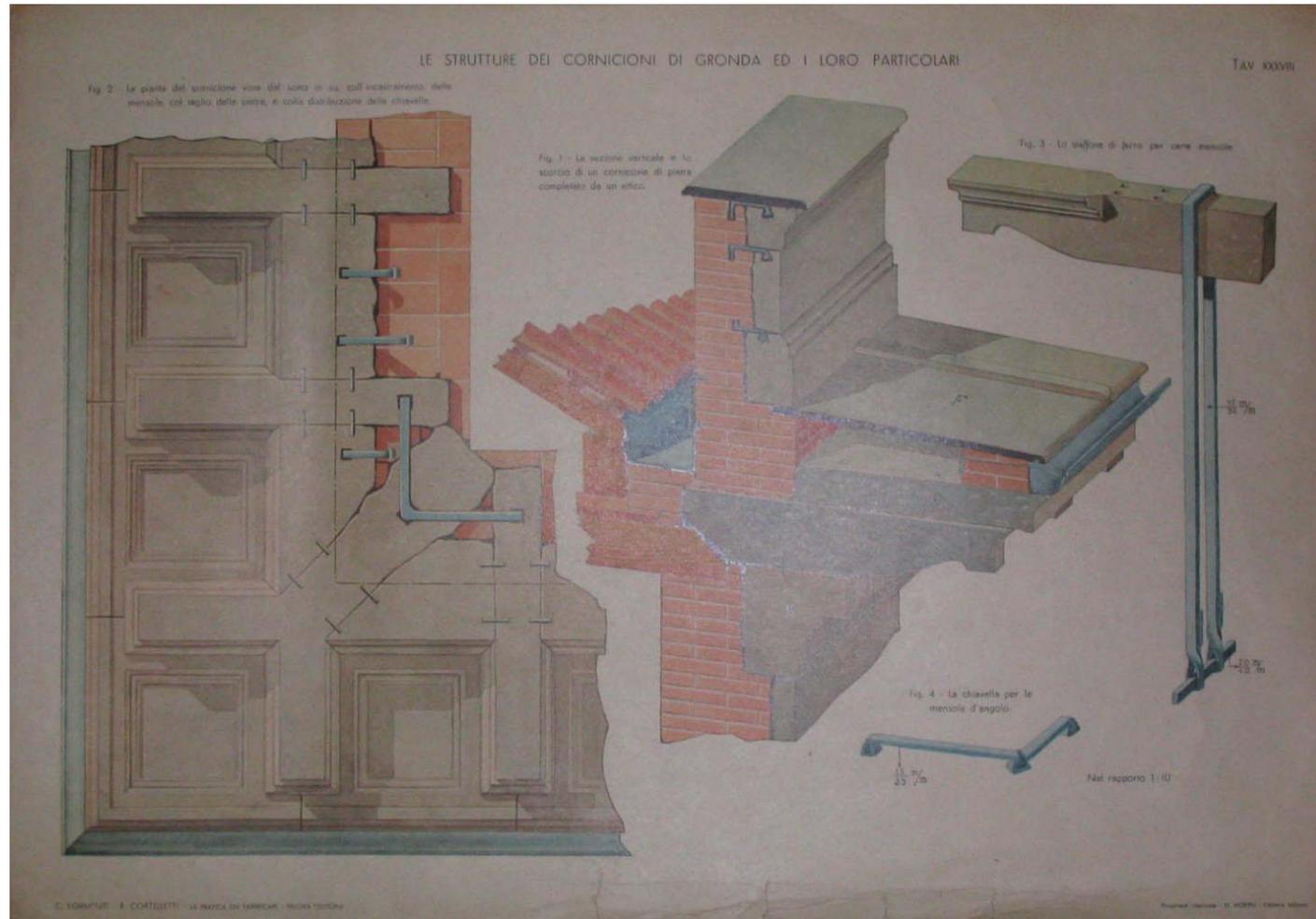
Le tramezzature reggiate non incidono sui travetti in legno dei solai, ma vanno comunque a scaricarsi sulle murature:

- **Peso** $\approx 100 \text{ kg/m}^2$
- **Interasse** $\approx 3.5 \text{ m}$
- **Interpiano** $\approx 3.5 \text{ m}$
- **Totale** $\approx 100 \text{ kg/m}^2$

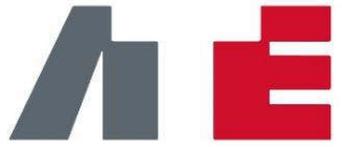
La pratica nel Fabbricare – Formenti Cortelletti



SENZA CONTARE... CARICHI DI GRONDE



La pratica del fabbricare - Formenti Cortelletti



SENZA CONTARE... BALCONI E MENSOLONI



P.zza S. Maria del Suffragio - Milano



CARICHI DI SICUREZZA E TENSIONI AMMISSIBILI



Fonte	Tipologia Muratura	Carico di Sicurezza o TA [kg/cm ²]		
<i>Colombo - 1890</i>	Mattoni			6
	Calcari-Marmi-Arenaree	20	-	25
<i>Formenti Cortellesi - 1893</i>	Mattoni Comuni	4	-	6
	Mattoni Resistenti	6	-	10
	Pietre Resistenti	6	-	10
	Arenaree Calcari Compatti	10	-	15
	Pietre Cristalline	15	-	30
<i>Foester - 1919</i>	Laterizi e malta di calce			7
	Arenaria			7
	Laterizi forti con malta di cemento bastarda	12	-	15
	Klinker in malta di cemento	25	-	30
<i>Astrua - 1963</i>	Mattoni e malta di calce aerea	8	-	10
	Mattoni e malta di calce idraulica	10	-	12
	Mattoni e malta di cemento	15	-	18
<i>Mastrodicasa - 1980</i>	Muratura in mattoni pieni e malta di cemento			18



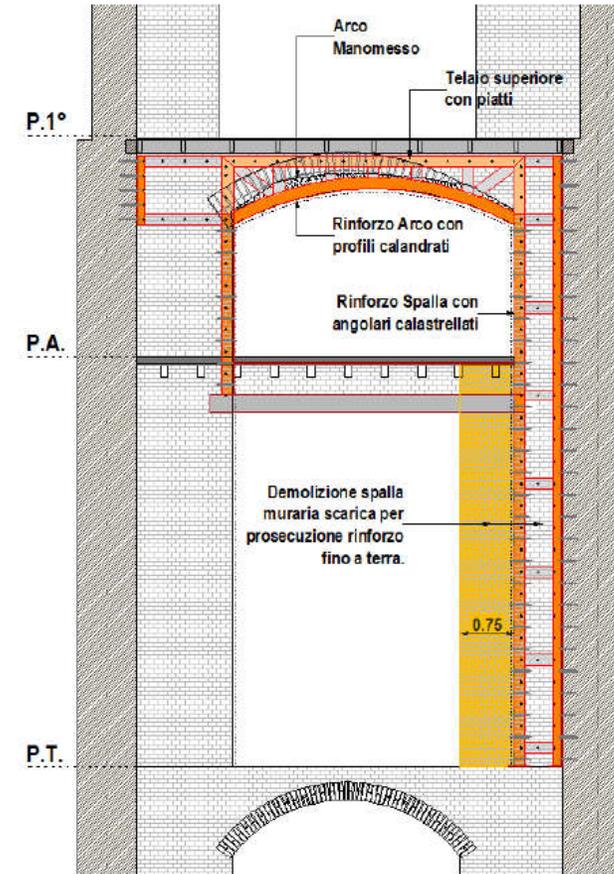
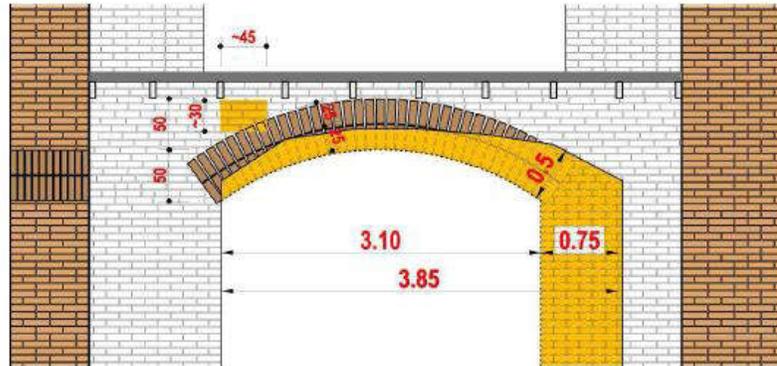
SONO ARRIVATI A NOI: SOPRALZATI



Via Cermenate - Milano



SONO ARRIVATI A NOI: CON APERTURE NEI MURI MAESTRI



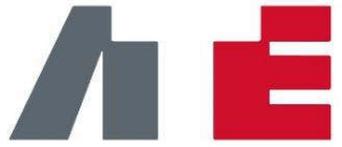
Progetto «Cracco in Galleria»



SONO ARRIVATI A NOI: CON CANNE FUMARIE



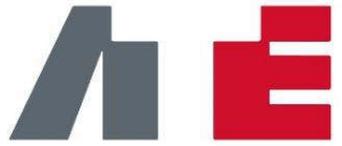
P.zza S. Maria del Suffragio - Milano



SONO ARRIVATI A NOI: CON MASSETTI ELEVATI



P.zza S. Maria del Suffragio - Milano



SONO ARRIVATI A NOI



«Ingegnere, eppure sta su...»



COME SI OTTENGONO QUESTE INFO: ANALISI STORICA



Attraverso una vera e approfondita **Analisi Storico-Critica:**

- Identificazione dell'edificio di partenza
- Identificazione della sua evoluzione
- In campo locale:
 - Studiare tipologia muratura e suoi elementi
 - Tessitura, materiali, ipotesi caratteristiche, individuazione tipologia
- In campo globale:
 - Avere traccia dello schema globale
 - Di come si è evoluto dopo vari interventi locali

Stato di fatto



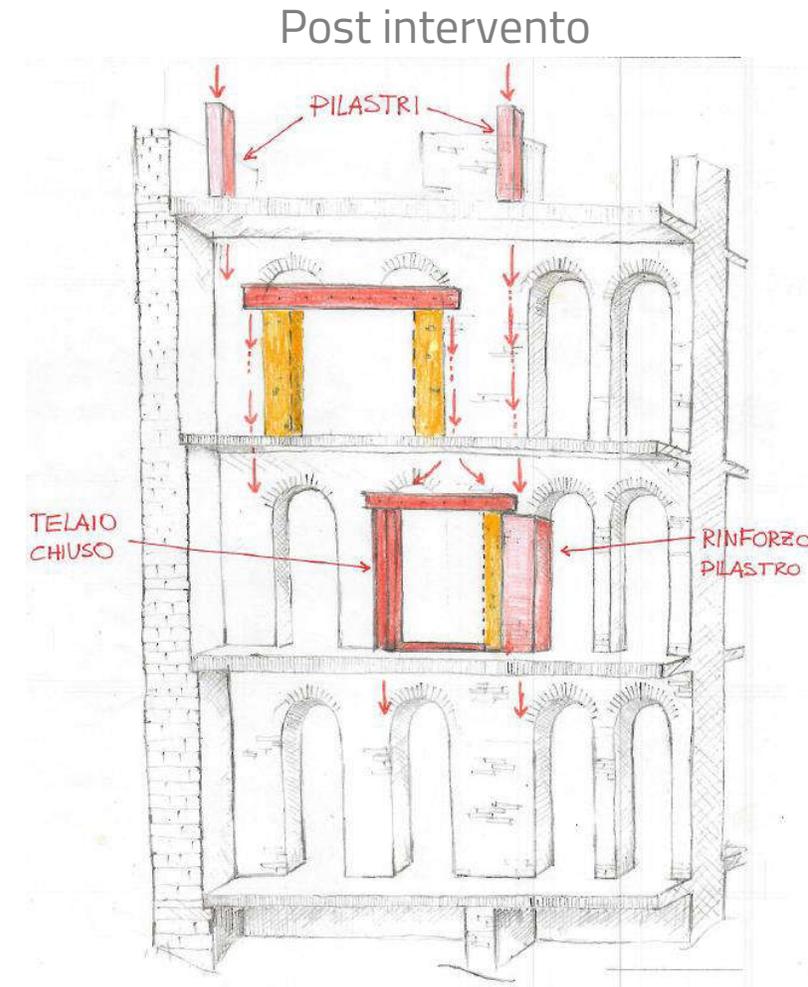


COME SI OTTENGONO QUESTE INFO: ANALISI STORICA



Attraverso una vera e approfondita **Analisi Storico-Critica**:

- Rilievo dell'esistente (LC1 visivo e geometrico)
- Leggere criticamente azioni statiche e dinamiche a cui è stato sottoposto nel corso della vita.
 - Per le azioni **dinamiche** → recuperare le registrazioni dei sismi avvenuti nella zona

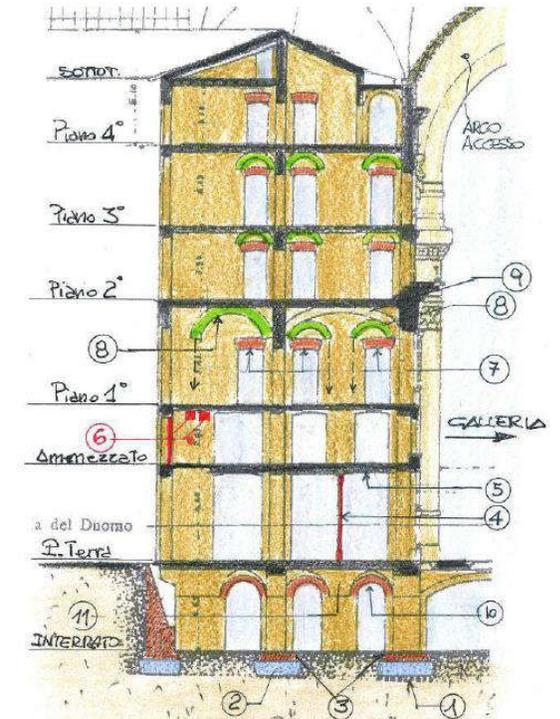
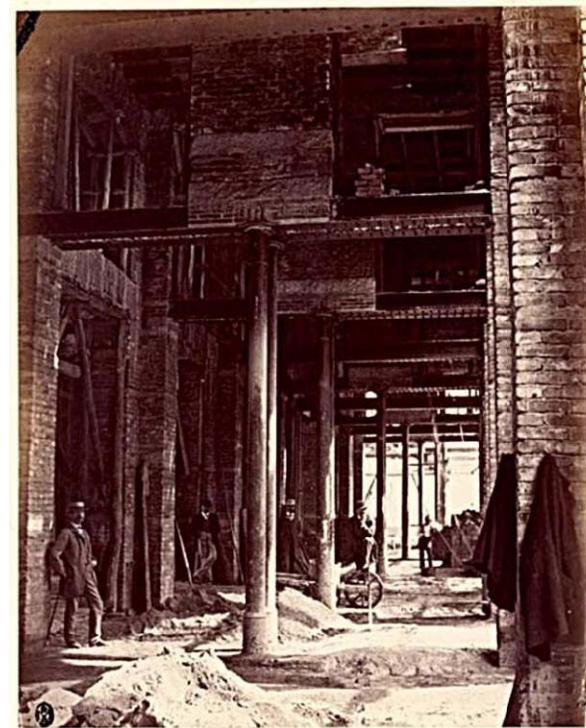
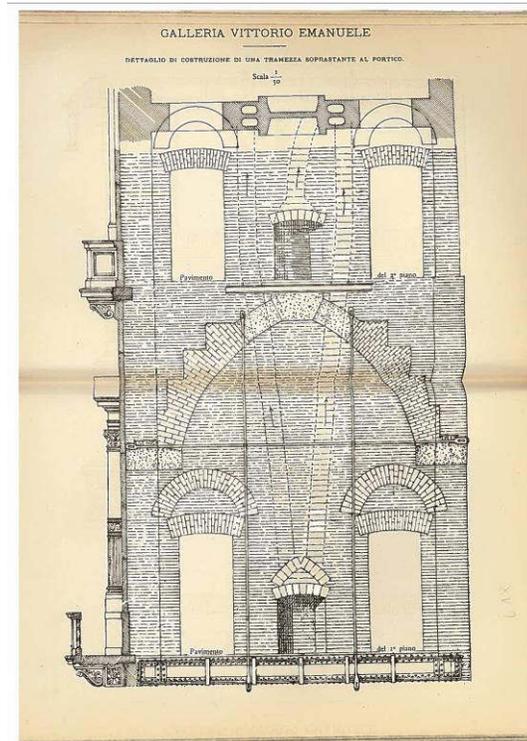




COME SI OTTENGONO QUESTE INFO: ANALISI STORICA



Cosa si intende per analisi storica **efficace**:



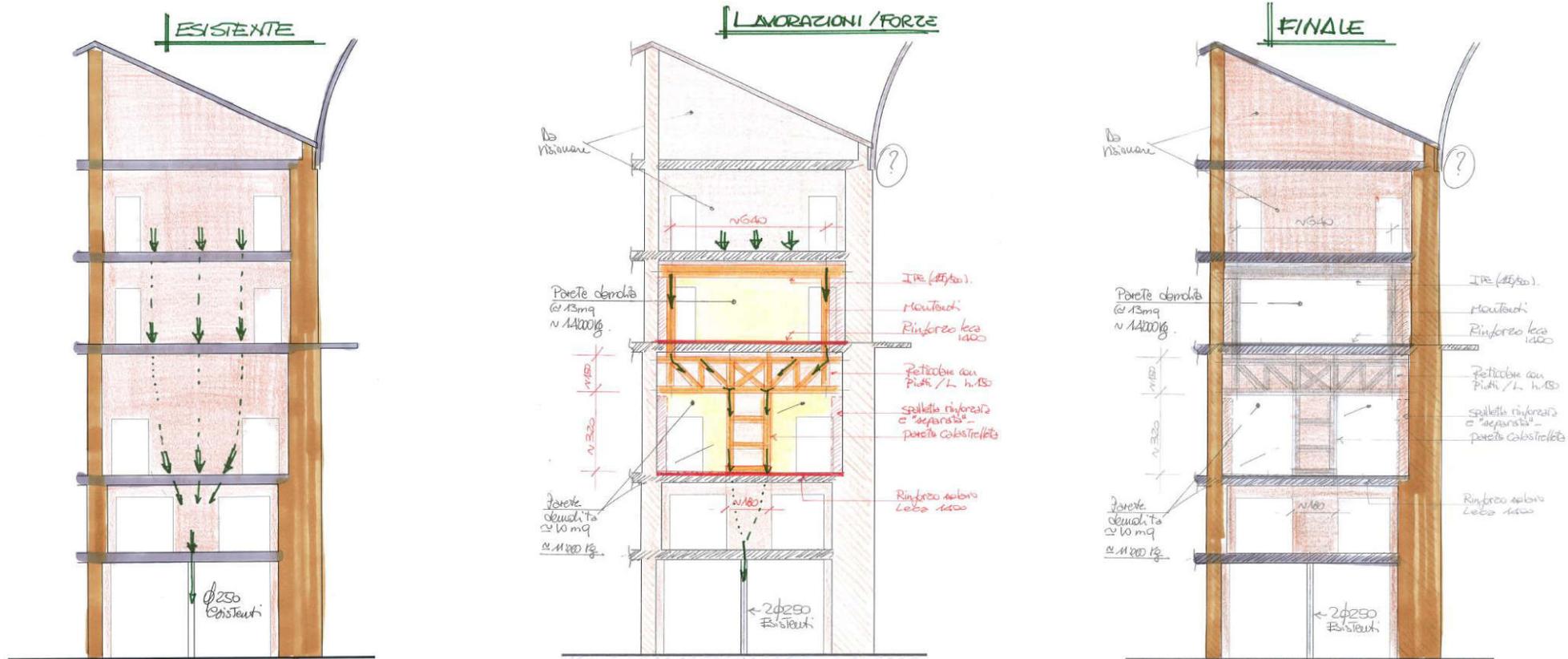
Progetto «Cracco in Galleria»



COME SI OTTENGONO QUESTE INFO: ANALISI STORICA



Esempio di analisi storica **efficace**:



→ Intervento volto a ripristinare l'andamento originale dei carichi

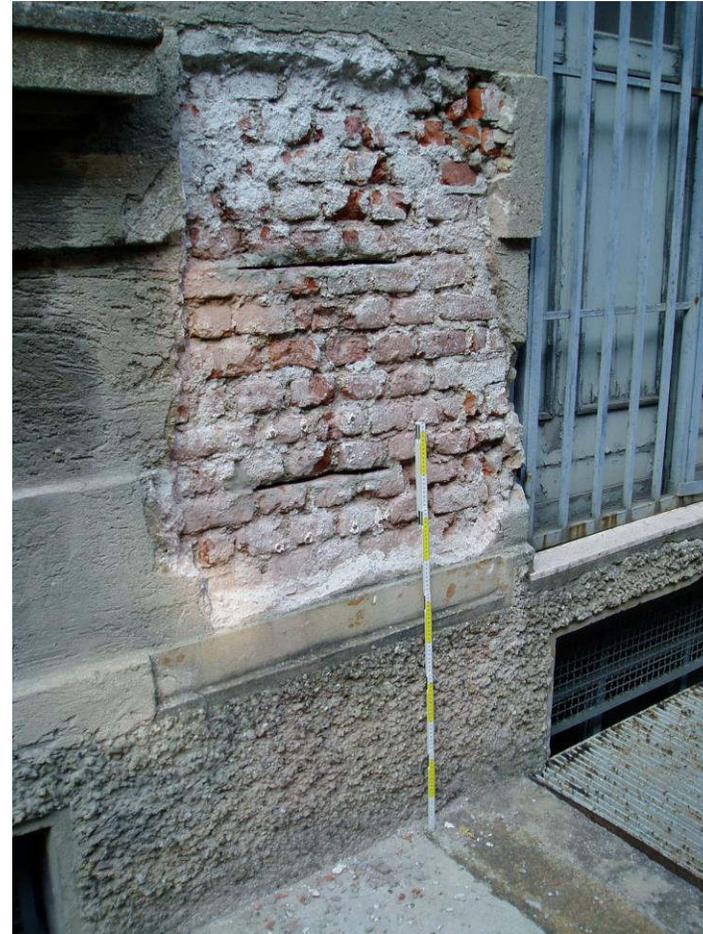


COME SI OTTENGONO QUESTE INFO: PROVE MATERIALI A

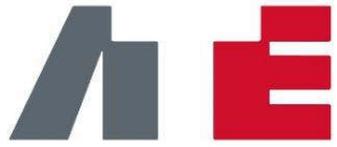


Prove **qualitative**:

- Indagini visive
- Termografie
- Sondaggi
- Prove soniche, ultrasoniche
- Prove georadar



Edificio 4 – Politecnico di Milano

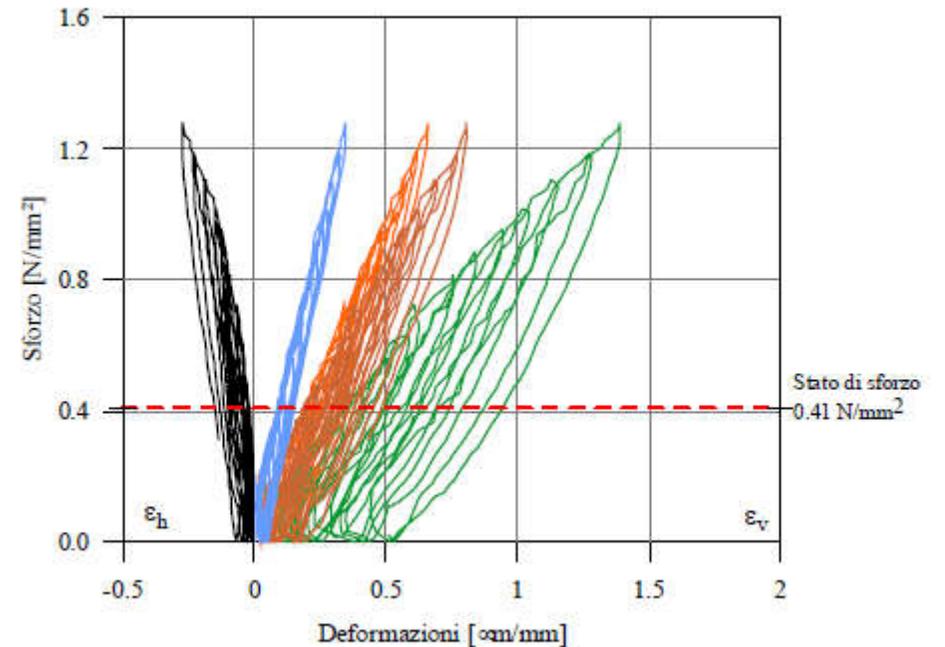


COME SI OTTENGONO QUESTE INFO: PROVE MATERIALI B

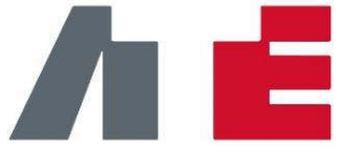


Prove **quantitative**:

- Martinetti doppi
- Martinetti singoli
- Prove di laboratorio
- Dilatometro
- Penetrometro
- Prove a compressione e a taglio in sito



Prova con martinetti piatti
Edificio 4 – Politecnico di Milano



COME SI OTTENGONO QUESTE INFO: PROVE MATERIALI C



Incrocio i valori della resistenza dei mattoni e della malta.

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

TAB C.8.5.II



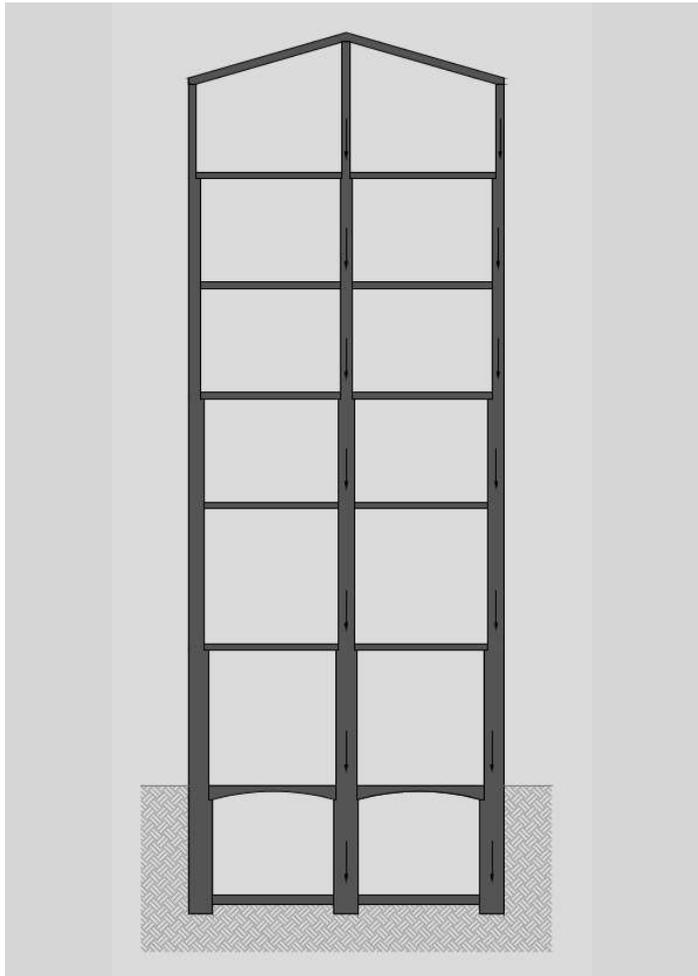
MA CHI ME LO FA FARE...



- Così è come si dovrebbe fare.
- Poi però si fanno le verifiche con le NTC e magari non tornano (magari anche di poco)...
- E quindi un Professionista, si attiene unicamente ai dati più basilici, si attiene alle NTC e.....
- Giù intonaco armato come se piovesse.....
- Come dargli torto, però, chi va oltre la Normativa si pone in una posizione "perseguibile legalmente...."
- Non è una cosa da poco.



Palazzo Vittadini - Milano



STATICA DEGLI EDIFICI IN MURATURA

- *LE FORMULAZIONI DI BASE*
- *ARTICOLAZIONE VERIFICA: AZIONI*
- *ARTICOLAZIONE VERIFICA: RESISTENZE*
- *ESEMPIO DI CALCOLO: Edificio in muratura di mattoni*



LE FORMULAZIONI DI BASE



- Φ FATTORE DI RIDUZIONE DEL MATERIALE
- Eccentricità (e) e snellezza (λ)
- $f_{d,rid} = \Phi \cdot f_d = \Phi \cdot f_k / \gamma_M$

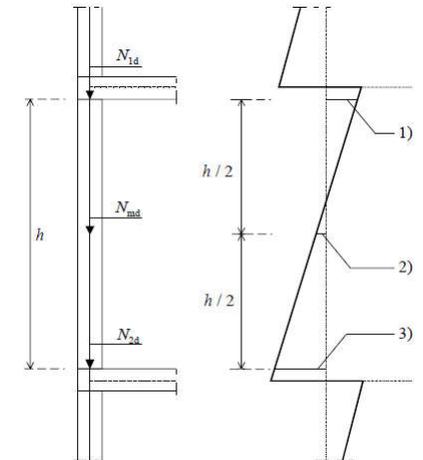
Da NTC 2018 - §4.5.6.2

Tab. 4.5.III - Valori del coefficiente Φ con l'ipotesi della articolazione (a cerniera)

Snellezza λ	Coefficiente di eccentricità $m = 6 e/t$				
	0	0,5	1,0	1,5	2,0
0	1,00	0,74	0,59	0,44	0,33
5	0,97	0,71	0,55	0,39	0,27
10	0,86	0,61	0,45	0,27	0,16
15	0,69	0,48	0,32	0,17	
20	0,53	0,36	0,23		

Da Eurocodice 6 - §6.1.2.2

$$\Phi_i = 1 - 2 \frac{e_i}{t}$$
$$e_i = \frac{M_{id}}{N_{id}} + e_{he} + e_{init} \geq 0,05 t$$





LE FORMULAZIONI DI BASE



Da NTC 2018 - §4.5.6.2

Tab. 4.5.III - Valori del coefficiente Φ con l'ipotesi della articolazione (a cerniera)

Snellezza λ	Coefficiente di eccentricità $m = 6 e/t$				
	0	0,5	1,0	1,5	2,0
0	1,00	0,74	0,59	0,44	0,33
5	0,97	0,71	0,55	0,39	0,27
10	0,86	0,61	0,45	0,27	0,16
15	0,69	0,48	0,32	0,17	
20	0,53	0,36	0,23		

$\Phi/\gamma_M(=3)$	Coeff. eccentricità $m=6 e/t$				
λ	0	0.5	1.0	1.5	2.0
0	0.33	0.25	0.20	0.15	0.11
5	0.32	0.24	0.18	0.13	0.09
10	0.28	0.20	0.15	0.09	0.05
15	0.23	0.16	0.11	0.06	-
20	0.18	0.12	0.08	-	-



$$f_{d,rid} = \Phi \cdot f_d = \Phi \cdot f_k / \gamma_M$$

$CR = \Phi / \gamma_M$ coefficiente riduttivo della resistenza

Con $\gamma_M = 3$



ARTICOLAZIONE VERIFICA: RESISTENZE



$$\bullet f_d = f_m / \gamma_M \rightarrow f_{d,rid} = \Phi \cdot f_d = \Phi \cdot f_m / \gamma_M \leftrightarrow \sigma_{am} = f_d / 1,4$$

C.8.5.3.1 NTC 2018 – Costruzioni esistenti in muratura

- Resistenza a compressione f_m dipende dal **livello di conoscenza**
- LC1 → valori minimi Tab C.8.5.I (26 kg/cm²) + coeff. migliorativi Tab C8.5.II
- LC2 → valori medi Tab C.8.5.I (34.5 kg/cm²) + coeff. migliorativi Tab C8.5.II
- LC3 → valori da prove sperimentali (o valori max 43 kg/cm²)



ARTICOLAZIONE VERIFICA: RESISTENZE



Tipologia di muratura	f (N/mm ²)	τ_0 (N/mm ²)	f_{v0} (N/mm ²)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	w (kN/m ³)
	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

TAB C.8.5.1



ARTICOLAZIONE VERIFICA: RESISTENZE



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 quadrati	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

TAB C.8.5.II



ARTICOLAZIONE VERIFICA: RESISTENZE



$$\bullet f_d = f_k / \gamma_M \rightarrow f_{d,rid} = \Phi \cdot f_d = \Phi \cdot f_k / \gamma_M \leftrightarrow \sigma_{am} = f_d / 1,4$$

11.10.3.1 NTC 2018 – Resistenza a compressione della muratura

- Nel caso di murature di blocchi artificiali di *tecnologia moderna (?)*, si può fare riferimento ai parametri meccanici del §11.10 relativo alle nuove costruzioni. (§C.8.5.3.1)
- Solo nel caso della muratura di mattoni o di elementi naturali squadri ed a tessitura regolare, si possono desumere le proprietà meccaniche dal §11.10. (da «Linee guida per la valutazione e riduzione del rischi sismico del patrimonio culturale»)
- f_k per murature in elementi artificiali $(51 \text{ kg/cm}^2)^*$ → Tab. 11.10.VI

* Ipotesi di utilizzare valori caratteristici degli elementi in linea con quelli indicati dalla manualistica storica, ossia 150 kg/cm^2 per i mattoni e una malta equivalente ad una categoria M2,5.



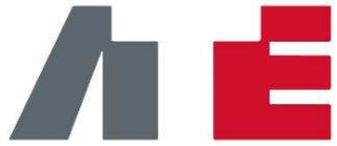
ARTICOLAZIONE VERIFICA: RESISTENZE



Tab. 11.10.VI - Valori di f_k per murature in elementi artificiali pieni e semipieni (valori in N/mm^2)

Resistenza caratteristica a compressione f_{bk} dell'elemento N/mm^2	Tipo di malta			
	M15	M10	M5	M2,5
2,0	1,2	1,2	1,2	1,2
3,0	2,2	2,2	2,2	2,0
5,0	3,5	3,4	3,3	3,0
7,5	5,0	4,5	4,1	3,5
10,0	6,2	5,3	4,7	4,1
15,0	8,2	6,7	6,0	5,1
20,0	9,7	8,0	7,0	6,1
30,0	12,0	10,0	8,6	7,2
40,0	14,3	12,0	10,4	–

TAB 11.10.VI



ARTICOLAZIONE VERIFICA: RESISTENZE



$$\bullet f_d = f_k / \gamma_M \rightarrow f_{d,rid} = \Phi_i \cdot f_d = \Phi_i \cdot f_k / \gamma_M \leftrightarrow \sigma_{am} = f_d / 1,4$$

3.6.1.2 EC6– Resistenza a compressione della muratura

- $f_k = 0.8 \cdot K \cdot (\delta \cdot f_b)^{0.7} \cdot f_m^{0.3}$ per muratura generica con giunti verticali
- K → da Tab. 3.3
- δ → fatt. di normalizzazione tab. EN 772-1
dipende da forma mattone

• *N.B. l'eurocodice fa riferimento solo alla muratura di nuova costruzione.*

Considerando: $f_b = 15 \text{ MPa} = 150 \text{ kg/cm}^2$ e $f_m = 2.5 \text{ MPa} = 25 \text{ kg/cm}^2$

$$\bullet f_k = 0.8 \cdot 0.55 \cdot (1 \cdot 15)^{0.7} \cdot 2.5^{0.3} = 3.86 \text{ MPa} = 38.56 \text{ kg/cm}^2 < 51 \text{ kg/cm}^2$$

* Stessa ipotesi di caratteristiche dei singoli materiali utilizzata per la resistenza secondo NTC §11.10.



ARTICOLAZIONE VERIFICA: AZIONI



- Sugli edifici esistenti solo verifiche SLU (§8.3 NTC18)

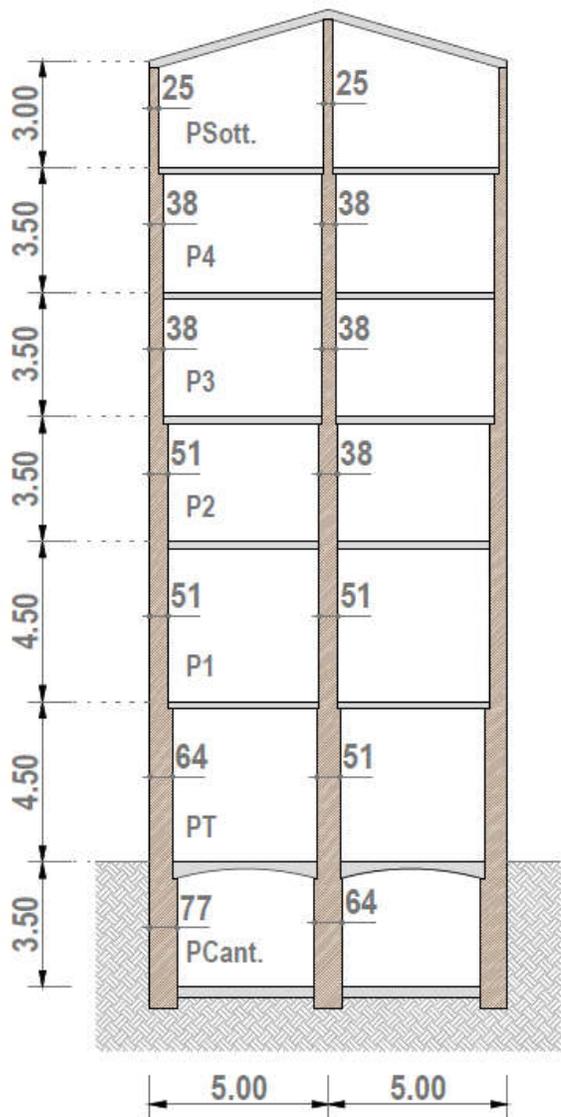
$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \dots$$

$$1.3 \cdot G_1 + 1,5 \cdot G_2 + 1,5 \cdot Q_{k1} + \dots$$

- «Per i carichi permanenti, un accurato rilievo geometrico-strutturale e dei materiali potrà consentire di adottare coefficienti parziali modificati, assegnando a γ_G valori esplicitamente motivati.» (§8.5.5 NTC18)



EDIFICIO ESEMPIO



Spessori muri:

	Muro frontale con aperture e appoggio di travi	Muro mediano con aperture e appoggio di travi	Muro di frontispizio senza aperture e senza appoggio di travi	Muro di colmo senza aperture e con appoggio di travi	Muro di frontispizio con aperture senza appoggio di travi	Muro di scala
a) per edifici d'abitazione						
Sottotetto	25	—	25	25	25	25
4. piano	38	38	25	38	25	25
3. »	38	38	25	38	25	25
2. »	51	38	25	38	38	25
1. »	51	38	38	51	38	25
Pian terreno	64	51	38	51	51	38
Cantina	77	51	51	64	51	38
b) per stabilimenti						
Sottotetto	25	—	25	25	—	25
4. piano	38	38	25	38	—	25
3. »	51	38	25	38	—	25
2. »	51	38	38	51	—	25
1. »	64	51	38	51	—	38
Piano terreno	77	51	51	64	—	38
Cantina	90	64	51	77	—	51

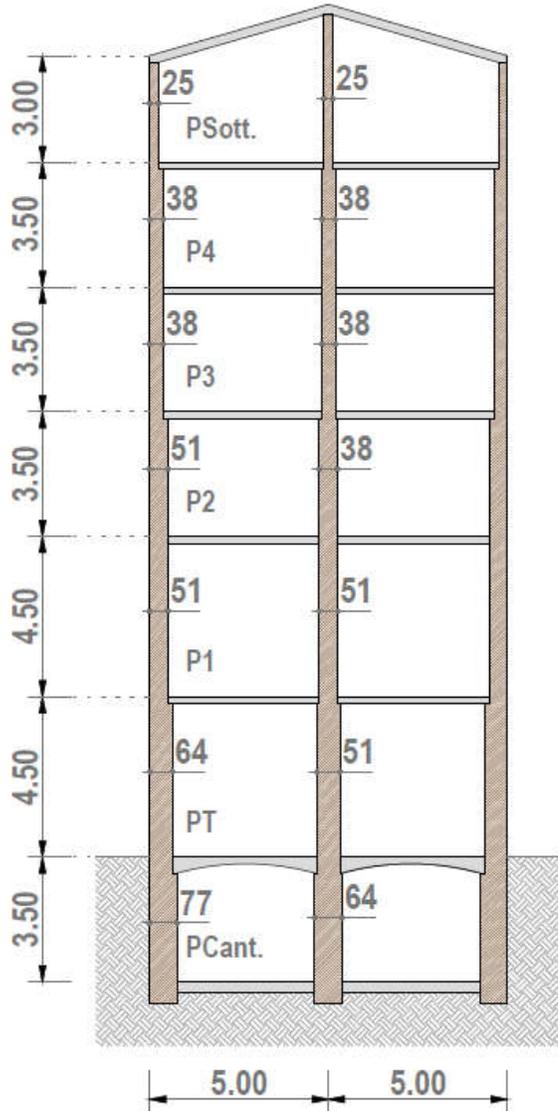
Analisi carichi:

- Pesì propri 50 kg/m²
 - Permanenti 210 kg/m²
 - Variabili 180 kg/m²
- **Totale** ≈450 kg/m²

N.B. Si valutano i carichi come indicati dalla manualistica storica, sebbene quelli odierni siano maggiori.



EDIFICIO ESEMPIO



- Carico solai
- Peso muri con aperture
- Malta di calce*
- Mattoni pieni *
- Connessione trasversale
- Ipotesi LC2

Da NTC 2018

Da Tab. C8.5.I

$$f_m = 44.85 \text{ kg/cm}^2$$

$1.3 \times (23 + 46) / 2$

Da Tab. 11.10.VI

$$f_k = 51 \text{ kg/cm}^2$$

$$450 \text{ kg/m}^2$$

$$1500 \text{ kg/m}^3$$

$$f_{mk} = 25 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{bk} = 150 \text{ kg/cm}^2$$

$$1.3 \cdot f_m \text{ (TAB C8.5.II)}$$

$$\gamma_M = 3$$

Da Eurocodice 6

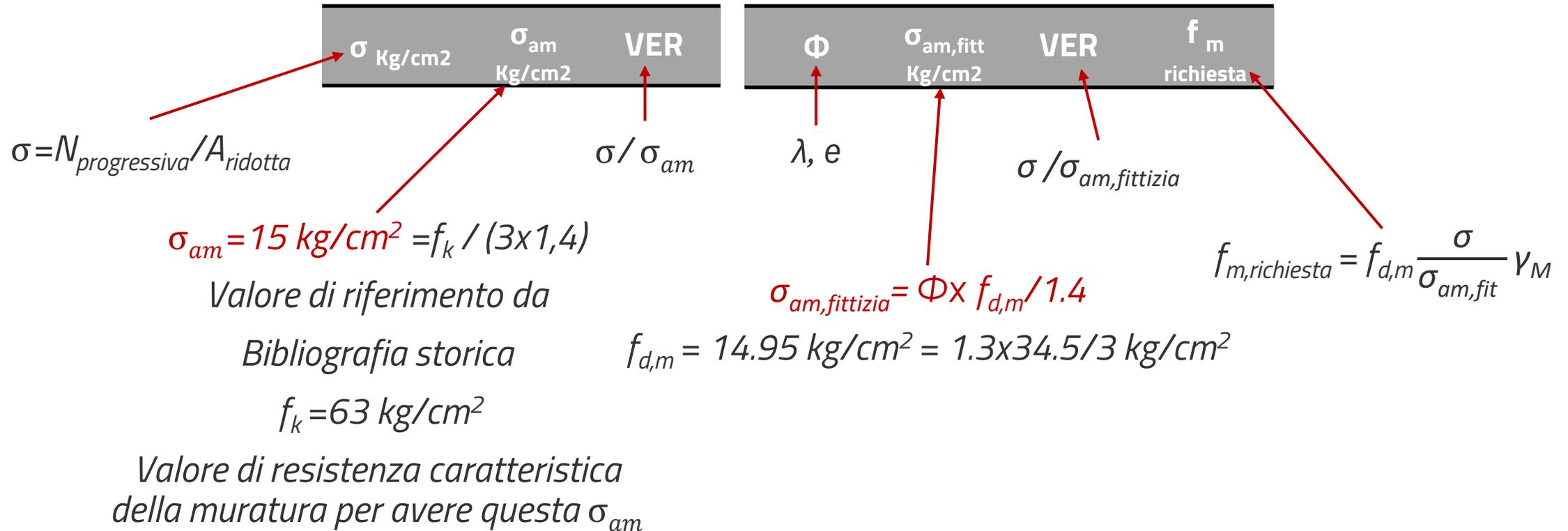
Da §3.2

$$f_k = 38.56 \text{ kg/cm}^2$$

* Ipotesi di utilizzare valori caratteristici degli elementi in linea con quelli indicati dalla manualistica storica.

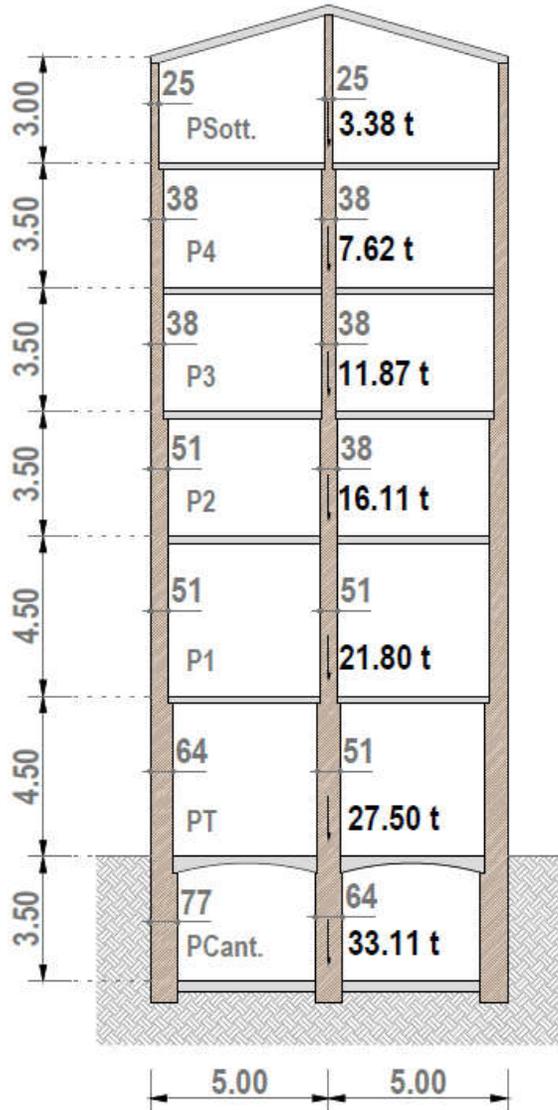


VERIFICA



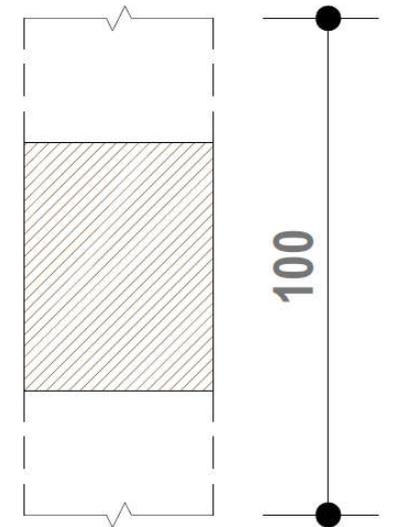


VERIFICA MURO DI SPINA



σ Kg/cm ²	σ_{am} Kg/cm ²	VER	Φ	$\sigma_{am, fitt}$ Kg/cm ²	VER	f_m richiesta
2.70	15	0.18	0.63	6.69	0.40	18.09
4.01	15	0.27	0.74	7.85	0.51	22.91
6.24	15	0.42	0.59	6.25	1.00	44.82
8.48	15	0.57	0.64	6.79	1.25	55.97
8.55	15	0.57	0.67	7.14	1.20	53.67
10.78	15	0.72	0.70	7.47	1.44	64.76
10.35	15	0.69	0.70	7.48	1.38	62.06

Riduzione per aperture
50% (1/2)



T.A.

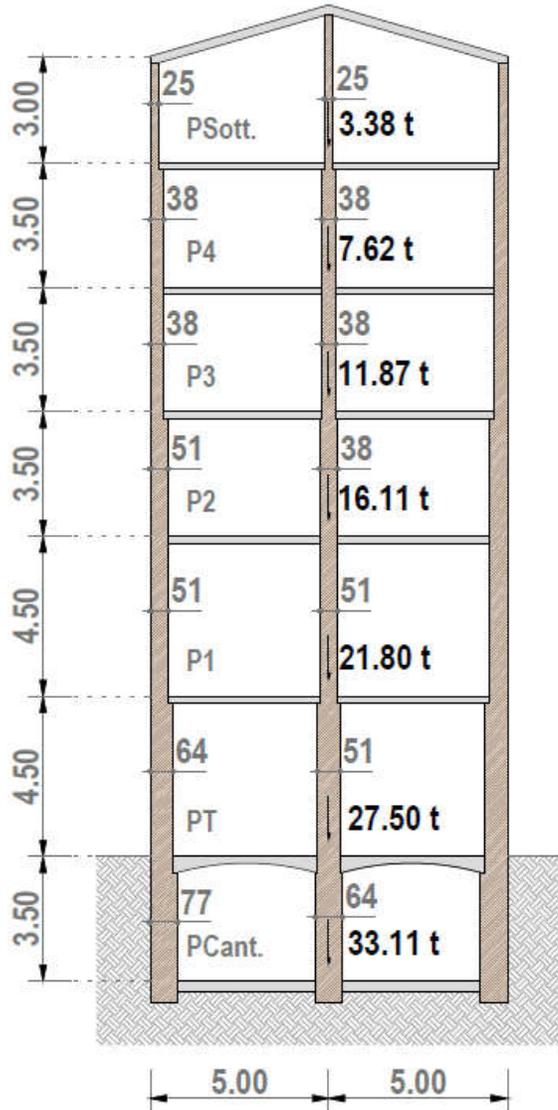
$$\sigma_{am, fittizia} = \Phi \times f_{d,m} / 1.4$$

$$f_k = 63 \text{ kg/cm}^2 = 15 \times 3 \times 1,4$$

$$NTC 2018 - f_{d,m} = 14.95 \text{ kg/cm}^2$$

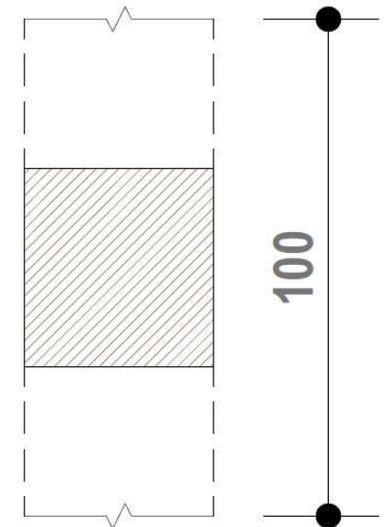


VERIFICA MURO DI SPINA



$\uparrow \sigma$ Kg/cm ²	σ_{am} Kg/cm ²	VER	Φ	$\sigma_{am, fitt}$ Kg/cm ²	VER	f_m richiesta
3.38	15	0.23	0.63	6.69	0.50	22.62
5.01	15	0.33	0.74	7.85	0.64	28.63
7.81	15	0.52	0.59	6.25	1.25	56.03
10.60	15	0.71	0.64	6.79	1.56	69.97
10.69	15	0.71	0.67	7.14	1.50	67.09
13.48	15	0.90	0.70	7.47	1.80	80.95
12.93	15	0.86	0.70	7.48	1.73	77.57

Riduzione per aperture
60% (3/5)



T.A.

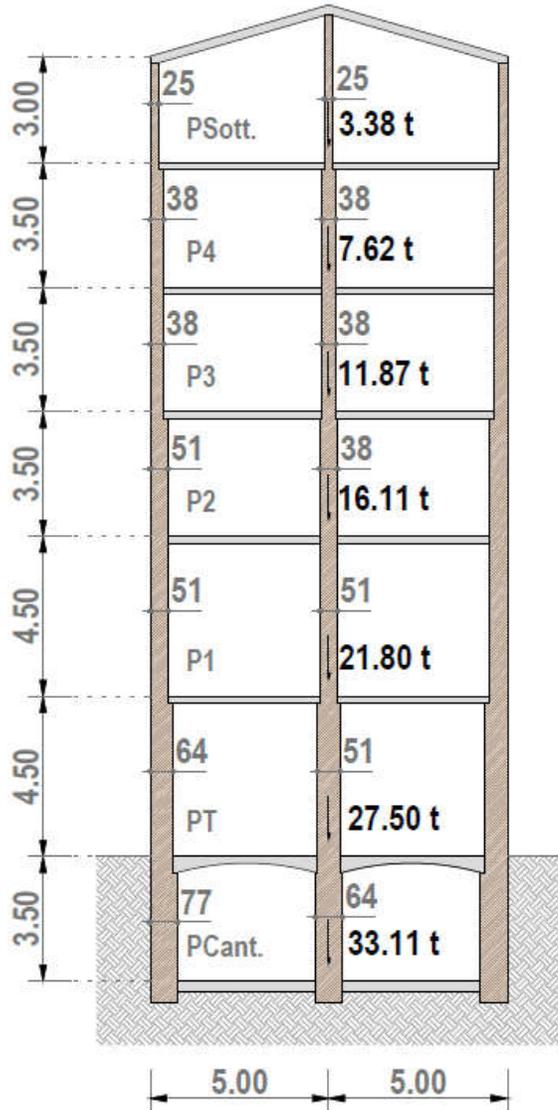
$$\sigma_{am, fittizia} = \Phi \times f_{d, m} / 1.4$$

$$f_k = 63 \text{ kg/cm}^2 = 15 \times 3 \times 1,4$$

$$NTC 2018 - f_{d, m} = 14.95 \text{ kg/cm}^2$$

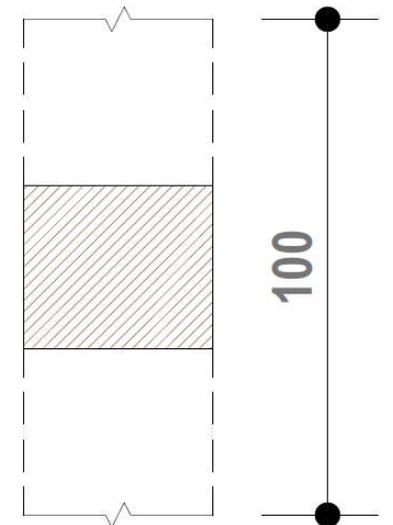


VERIFICA MURO DI SPINA



$\uparrow \sigma$ Kg/cm ²	σ_{am} Kg/cm ²	VER	Φ	$\sigma_{am, fitt}$ Kg/cm ²	VER	f_m richiesta
4.05	15	0.27	0.63	6.69	0.61	27.14
6.02	15	0.40	0.74	7.85	0.77	34.36
9.37	15	0.62	0.59	6.25	1.50	67.23
12.72	15	0.85	0.64	6.79	1.87	83.96
12.83	15	0.86	0.67	7.14	1.80	80.51
16.17	15	1.08	0.70	7.47	2.17	97.14
15.52	15	1.03	0.70	7.48	2.08	93.08

Riduzione per aperture
67% (2/3)



T.A.

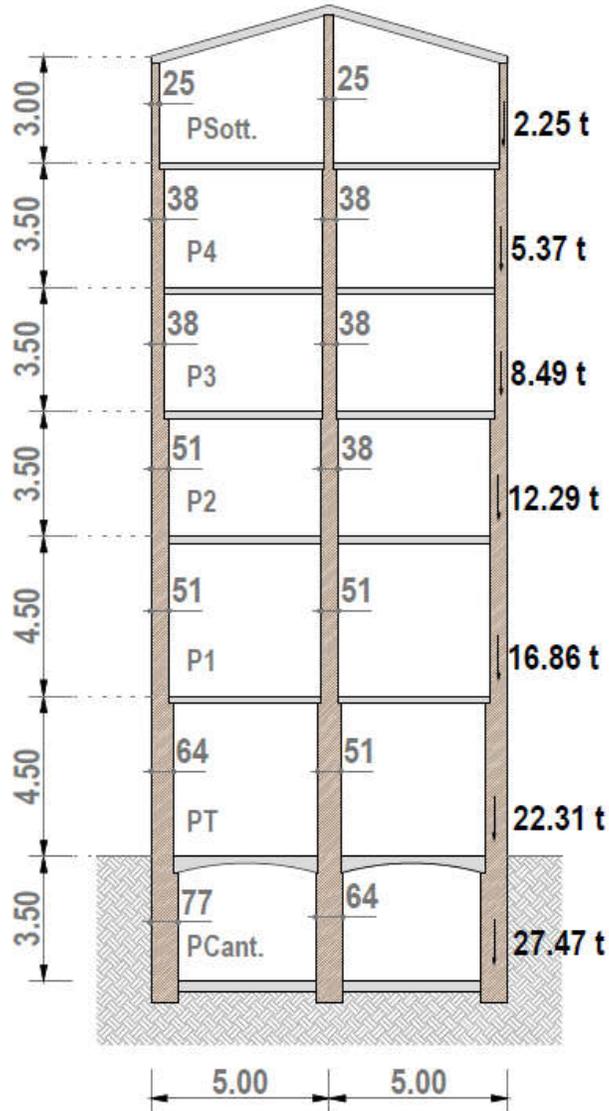
$$\sigma_{am, fittizia} = \Phi \times f_{d,m} / 1.4$$

$$f_k = 63 \text{ kg/cm}^2 = 15 \times 3 \times 1,4$$

$$NTC 2018 - f_{d,m} = 14.95 \text{ kg/cm}^2$$

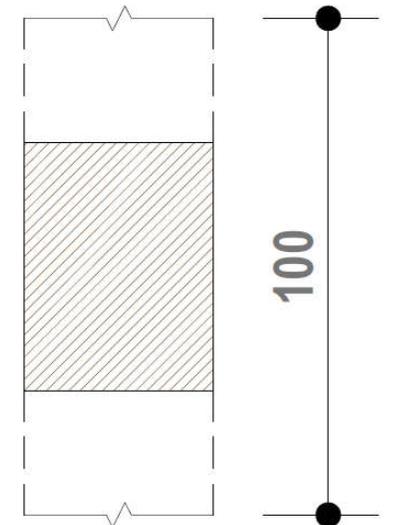


VERIFICA MURO DI FACCIATA



σ Kg/cm ²	σ_{am} Kg/cm ²	VER	Φ	$\sigma_{am,fitt}$ Kg/cm ²	VER	f_m richiesta
1.80	15	0.12	0.63	6.69	0.27	12.06
2.83	15	0.19	0.77	8.26	0.34	15.35
4.47	15	0.30	0.64	6.87	0.65	29.16
4.82	15	0.32	0.69	7.40	0.65	29.23
6.61	15	0.44	0.71	7.63	0.87	38.85
6.97	15	0.46	0.69	7.32	0.95	42.71
7.14	15	0.48	0.79	8.42	0.85	38.00

Riduzione per aperture
50% (1/2)



T.A.

$$\sigma_{am,fittizia} = \Phi \times f_{d,m} / 1.4$$

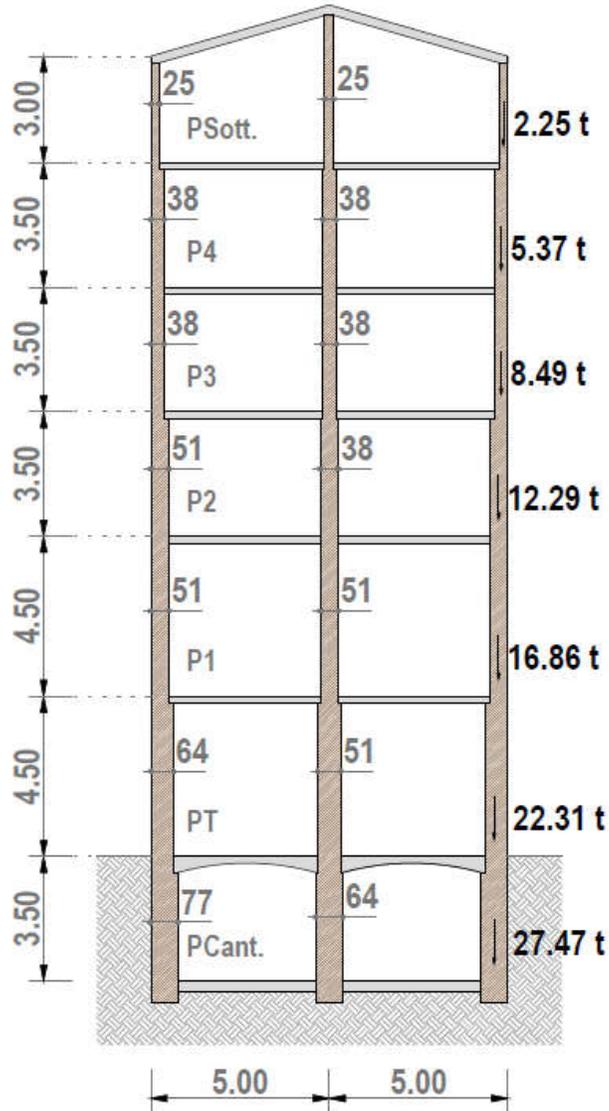
$$f_k = 63 \text{ kg/cm}^2 = 15 \times 3 \times 1,4$$

$$\text{NTC 2018} - f_{d,m} = 14.95 \text{ kg/cm}^2$$

N.B. Nella verifica dei muri di facciata si sono trascurati i carichi dovuti a rivestimenti lapidei o mensole di balconi

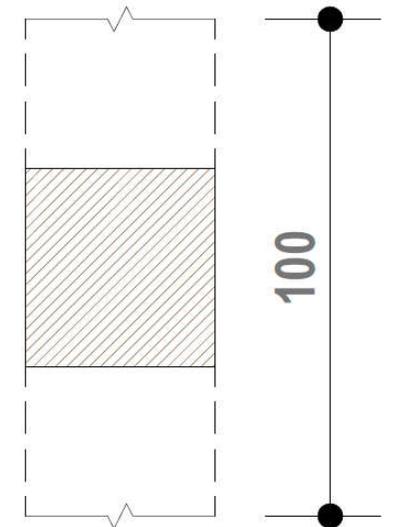


VERIFICA MURO DI FACCIATA



$\uparrow \sigma$ Kg/cm ²	σ_{am} Kg/cm ²	VER	Φ	$\sigma_{am, fitt}$ Kg/cm ²	VER	f_m richiesta
2.25	15	0.15	0.63	6.69	0.34	15.08
3.53	15	0.24	0.77	8.26	0.43	19.19
5.59	15	0.37	0.64	6.87	0.81	36.45
6.03	15	0.40	0.69	7.40	0.81	36.53
8.26	15	0.55	0.71	7.63	1.08	48.56
8.71	15	0.58	0.69	7.32	1.19	53.39
8.92	15	0.59	0.79	8.42	1.06	47.50

Riduzione per aperture
60% (3/5)



T.A.

$$\sigma_{am, fittizia} = \Phi \times f_{d,m} / 1.4$$

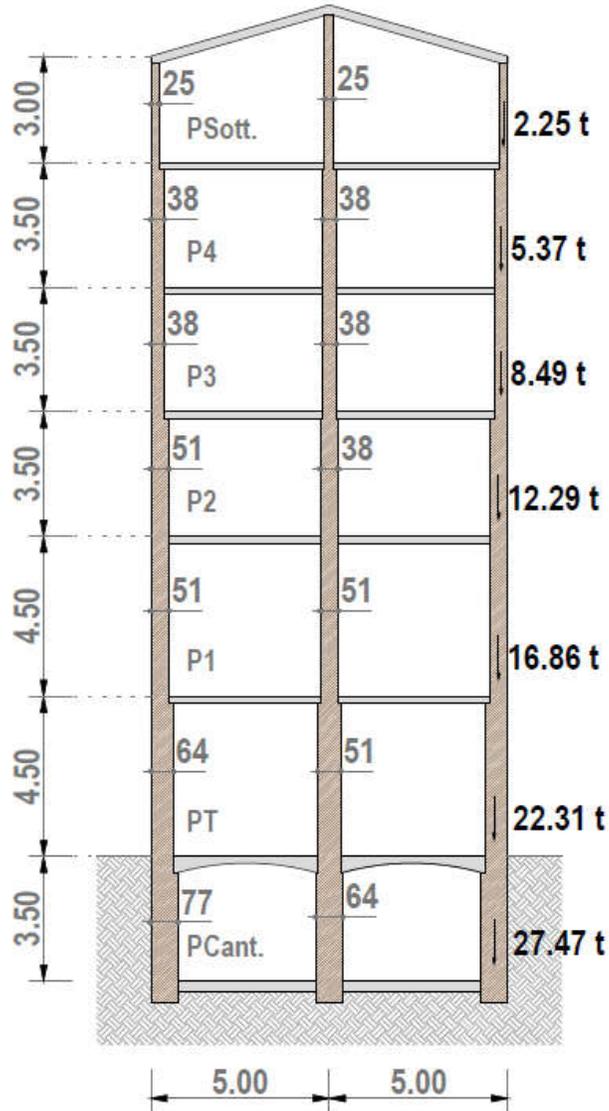
$$f_k = 63 \text{ kg/cm}^2 = 15 \times 3 \times 1,4$$

$$NTC 2018 - f_{d,m} = 14.95 \text{ kg/cm}^2$$

N.B. Nella verifica dei muri di facciata si sono trascurati i carichi dovuti a rivestimenti lapidei o mensole di balconi

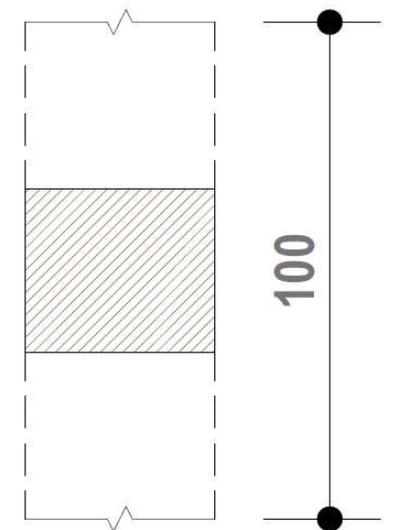


VERIFICA MURO DI FACCIATA



$\uparrow \sigma$ Kg/cm ²	σ_{am} Kg/cm ²	VER	Φ	$\sigma_{am, fitt}$ Kg/cm ²	VER	f_m richiesta
2.70	15	0.18	0.63	6.69	0.40	18.09
4.24	15	0.28	0.77	8.26	0.51	23.02
6.70	15	0.45	0.64	6.87	0.98	43.74
7.23	15	0.48	0.69	7.40	0.98	43.84
9.92	15	0.66	0.71	7.63	1.30	58.28
10.46	15	0.70	0.69	7.32	1.43	64.07
10.70	15	0.71	0.79	8.42	1.27	57.00

Riduzione per aperture
67% (2/3)



T.A.

$$\sigma_{am, fittizia} = \Phi \times f_{d, m} / 1.4$$

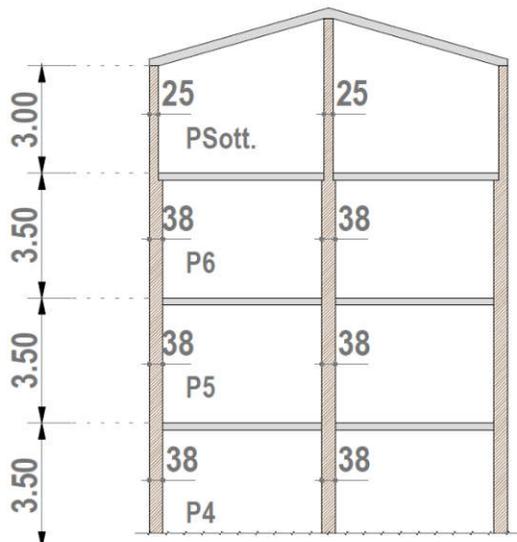
$$f_k = 63 \text{ kg/cm}^2 = 15 \times 3 \times 1,4$$

$$\text{NTC 2018} - f_{d, m} = 14.95 \text{ kg/cm}^2$$

N.B. Nella verifica dei muri di facciata si sono trascurati i carichi dovuti a rivestimenti lapidei o mensole di balconi

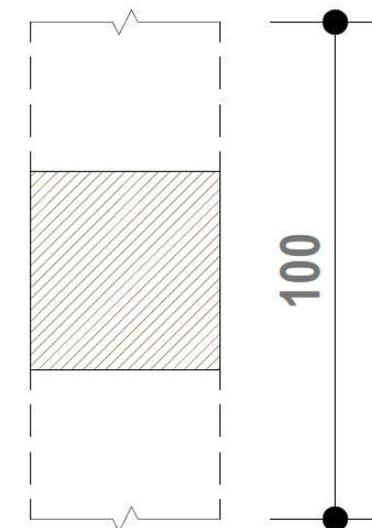


SE AGGIUNGIAMO IL SOPRALZO: MURO DI SPINA



liv.	N prog	$\uparrow \sigma$ Kg/cm ²	σ_{am} Kg/cm ²	VER	Φ	$\sigma_{am, fitt}$ Kg/cm ²	VER
P.sott	3.38 t	3.38	15	0.23	0.63	6.69	0.50
P6	7.62 t	5.01	15	0.33	0.74	7.85	0.64
P5	11.87 t	7.81	15	0.52	0.63	6.69	1.17
P4	16.11 t	10.60	15	0.71	0.74	7.85	1.35
P3	20.36 t	13.39	15	0.89	0.59	6.25	2.14
P2	24.60 t	16.18	15	1.08	0.64	6.79	2.38
P1	30.30 t	14.85	15	0.99	0.67	7.14	2.08
PT	35.99 t	17.64	15	1.18	0.70	7.47	2.36
P.Cant	41.60 t	16.25	15	1.08	0.70	7.48	2.17

Riduzione per aperture
60% (3/5)



T.A.

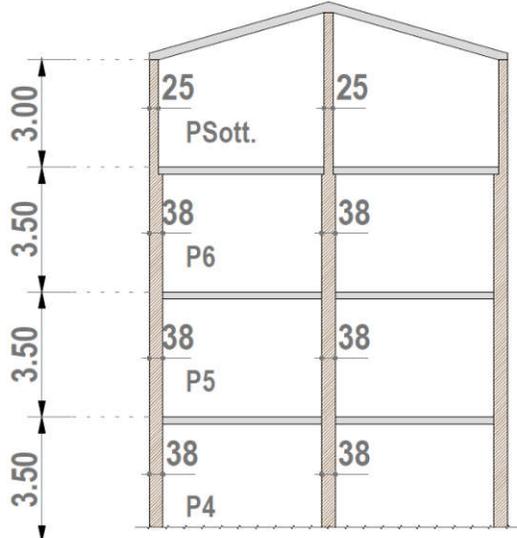
$$f_k = 63 \text{ kg/cm}^2 = 15 \times 3 \times 1,4$$

$$\sigma_{am, fittizia} = \Phi \times f_{d,m} / 1.4$$

$$NTC 2018 - f_{d,m} = 14.95 \text{ kg/cm}^2$$

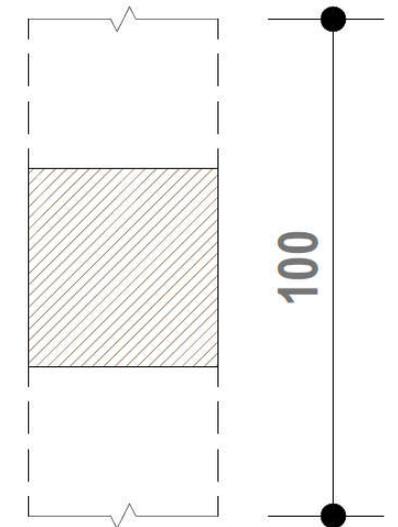


SE AGGIUNGIAMO IL SOPRALZO: MURO DI FACCIATA



liv.	N _{prog}	$\uparrow \sigma$ Kg/cm ²	σ_{am} Kg/cm ²	VER	Φ	$\sigma_{am, fitt}$ Kg/cm ²	VER
P.sott.	2.25 t	2.25	15	0.15	0.63	6.69	0.34
P6	5.37 t	3.53	15	0.24	0.77	8.26	0.43
P5	8.49 t	5.59	15	0.37	0.63	6.69	0.83
P4	11.61 t	7.64	15	0.51	0.77	8.26	0.92
P3	14.73 t	9.69	15	0.65	0.64	6.87	1.41
P2	18.53 t	9.08	15	0.61	0.69	7.40	1.23
P1	23.10 t	11.32	15	0.75	0.71	7.63	1.48
PT	28.55 t	11.15	15	0.74	0.69	7.32	1.52
P.Cant	33.71 t	10.95	15	0.73	0.79	8.42	1.30

Riduzione per aperture
60% (3/5)



T.A.

$$\sigma_{am, fittizia} = \Phi \times f_{d,m} / 1.4$$

$$f_k = 63 \text{ kg/cm}^2 = 15 \times 3 \times 1.4$$

$$NTC 2018 - f_{d,m} = 14.95 \text{ kg/cm}^2$$

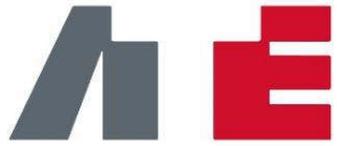
N.B. Nella verifica dei muri di facciata si sono trascurati i carichi dovuti a rivestimenti lapidei o mensole di balconi



PROPOSTE

- *COME COMPORTARSI CON LE STRUTTURE ESISTENTI?*
- *CASISTICA*
- *STATISTICA*
- *DALLO SDF ALLE CARATTERISTICHE? - BACK ANALYSIS*
- *TEMPO REALE E TEMPO DI RITORNO*
- *DIVERSA ACCEZIONE DELLO «STA SU»*
- *CONTINUARE A COSTRUIRE IN MURATURA?*





COME COMPORTARSI CON LE STRUTTURE ESISTENTI?



Anche con riferimento agli edifici esistenti, le NTC sono evidentemente impostate per le verifiche sulle murature di nuova costruzione.

Questo in particolare si evince dall'uso dei coefficienti γ_M , che tengono conto di vari aspetti tra cui:

- Incertezze sui materiali;
- Incertezze realizzative (posa in opera).

In un edificio esistente si superano le incertezze realizzative:

- In primo luogo, dal Collaudo;
- In secondo luogo, dal collaudo effettivo (l'uso effettivo e quindi l'applicazione di tutti i carichi accidentali);
- Dagli eventi naturali a cui è stato sottoposto (vento e terremoti);
- Ed infine dal comportamento nel tempo dell'edificio, che ha mantenuto la sua funzionalità per tutta la durata della sua vita (che supera la vita utile di riferimento).



COME CI SIAMO COMPORATI CON LE STRUTTURE ESISTENTI?



Un edificio in muratura ha spesso un'età di oltre 100 anni:

- ha subito tutti gli eventi naturali (vento, micrososse sismiche ed eventuali terremoti);
- ha subito tutti i carichi previsti all'epoca della costruzione;
- ha resistito ad aumenti dei carichi permanenti:
 - a massetti riportati e/o pseudo consolidamenti dei solai;
 - ha subito tutte le manomissioni per formazione di nuove aperture, nicchie per arredo, etc...
- È stato sopralzato di 1 / 2 o addirittura 3 piani, senza che per questo venissero rinforzati i maschi murari.

È ovvio che tutti questi aspetti comportano innanzitutto:

- aumenti di sollecitazione media nei maschi murari, che pertanto si trovano a lavorare a tassi di lavoro unitario almeno 1.5 volte quello di partenza;
- aumenti molto elevati delle tensioni unitarie nei pressi delle porzioni murarie ridotte per le nuove aperture o nicchie.

.... Eppure '**sta su**' di nuovo non si può dire ma è la pura sostanza delle cose.....



Via Cermenate - Milano

Considero un primo edificio con sopralzo:

- Faccio calcoli statici
- Confronto con la Normativa



Verifica Negativa

«Sta su» ma posso fidarmi?



Rinforzo



CASISTICA 2 ...



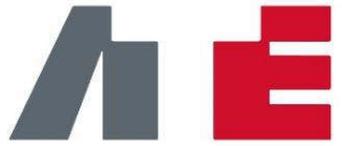
Edifici a Milano

Considero altri n casi:

- Tutti stanno su senza sintomi
- Per tutti ottengo verifiche negative (...comincio a dubitare delle NTC...)

Anche all'n-esimo caso mi trovo nella situazione di non rispondenza alle NTC

MI ASSUMO LA RESPONSABILITÀ E VADO AVANTI SENZA RINFORZARE L'EDIFICIO



CASISTICA → STATISTICA



- Per le strade di Milano vedo miriadi di edifici in muratura, molti sopralzati.



Piazza Ascoli - Milano

Stanno Tutti Su



CASISTICA → STATISTICA



Edifici a Milano



CASISTICA → STATISTICA



Edifici a Milano



STATISTICA



Piazzale Biancamano - Milano

Anche chi se ne è occupato ha svolto le verifiche... tutte con esito negativo...

Confrontandomi con altri colleghi possiamo convenire che se le verifiche non sono mai positive, andando contro la realtà

le NTC sono sbagliate

Dal confronto emerge che il **margin**e di **resistenza** è molto **elevato**

altrimenti sarebbe avvenuto qualche crollo statisticamente



DALLO STATO DI FATTO ALLE CARATTERISTICHE?



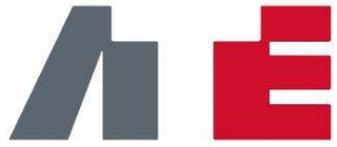
Rispetto all'edificio di partenza, quello che arriva ai giorni nostri rispetterà ancora meno le verifiche secondo le NTC.

Ma ci si domanda:

- Il fatto che l'edificio, pur con gli aumenti di carico medi/locali non denunci il minimo problema può avere un valore tecnicamente spendibile nella sua verifica?
- Il valore delle tensioni medie calcolabile per l'edificio nei suoi punti medi e, soprattutto nei suoi punti di maggior impegno, non può assumersi (con le dovute cautele), quale base per l'attribuzione del fatidico f_k o f_m ? (Magari un σ ammissibile in linea al σ reale).

$$f_m \leftrightarrow \sigma_{\text{carichi statici}}$$

$$\gamma_{M,\text{new}} \gg \gamma_{M,\text{esist}}$$



DALLO STATO DI FATTO ALLE CARATTERISTICHE?



Ma ci si domanda:

- Il fatto che l'edificio abbia attraversato indenne gli accidenti intercorsi nella sua vita utile, non può essere impiegato per abbattere le incertezze dovute alla sua realizzazione? Adottando valori più aderenti alla realtà; ad esempio $\gamma_M = 1.5$?

La resistenza reale dell'edificio deve confrontarsi quindi con lo stato e la storia dell'edificio.

Un dato ottenuto da **back-analysis** è più significativo in un edificio sottoposto lungamente ai carichi statici (oltre che ai sismi che via via sono stati assorbiti, anche se di entità inferiore agli eventuali di progetto).

$$f_m \leftrightarrow \sigma_{\text{carichi statici}}$$

$$\gamma_{M,\text{new}} \gg \gamma_{M,\text{esist}}$$



BACK - ANALYSIS



IPOTESI: EDIFICIO DI OLTRE 100 ANNI, INTEGRO, SENZA DEGRADI, MA CON EVENTUALI SOPRALZI SUCCESSIVI

SISMICA

- Calcolo sollecitazioni in base ai sismi registrati (es: $ag/g=0,03$ da dati statistici)
- Calcolo resistenze necessarie minime (arrivando a f_k ...)
- Imponiamo Resistenze sismiche > Sollecitazioni sismiche
- Troviamo un f_k^{sis} minima per attuare la verifica

STATICA

- Calcolo sollecitazioni (in funzione dei carichi, eventuali sopralzi ecc...)
- Calcolo resistenze necessarie minime (arrivando a f_k ...)
- Imponiamo Resistenze statiche > Sollecitazioni statiche
- Troviamo un f_k^{stat} minima per attuare la verifica



BACK - ANALYSIS



OUTPUT POSSIBILI

- $f_k^{sis} < f_k^{stat}$

- $f_k^{sis} > f_k^{stat}$

CONSEGUENZE PROBABILI

- Non occorrono interventi statici
- Occorrono interventi per verificare il sisma (ma probabilmente di minore entità a quelli dovuti da f_k^{NTC})
- Non occorrono interventi statici
- Forse non occorrono interventi per verificare il sisma (verifica attuata con f_k^{sis})
- In ogni caso molto probabilmente si avrà che i valori tabulati dalla Circolare NTC $f_k^{NTC} < f_k^{sis}$ o f_k^{stat}



TEMPO REALE E TEMPO DI RITORONO



- Se la struttura non mostra problemi e non ne ha mostrati a seguito degli eventi sismici a cui è stata realmente sottoposta, la \mathcal{R} deve per forza essere maggiore dell'azione che la muratura è stata chiamata a sostenere.
- I valori f_k , f_{vk} , etc..., che determinano la \mathcal{R} :
- non possono essere abbattuti dei γ_M delle nuove murature, ma devono essere visti in funzione della storia dell'edificio;
- se i valori caratteristici dei materiali suggeriti dalla tabella NTC non verificano l'edificio ai carichi a cui è certamente stato sottoposto (sisma reale, carichi statici con sopralzi e aperture...), potrebbe essere possibile andare a ritroso da stato di sforzo a valori caratteristici?
- La struttura subisce un decadimento nelle sue prestazioni? Tale decadimento è confrontabile con quanto si presume avvenga per le nuove costruzioni?

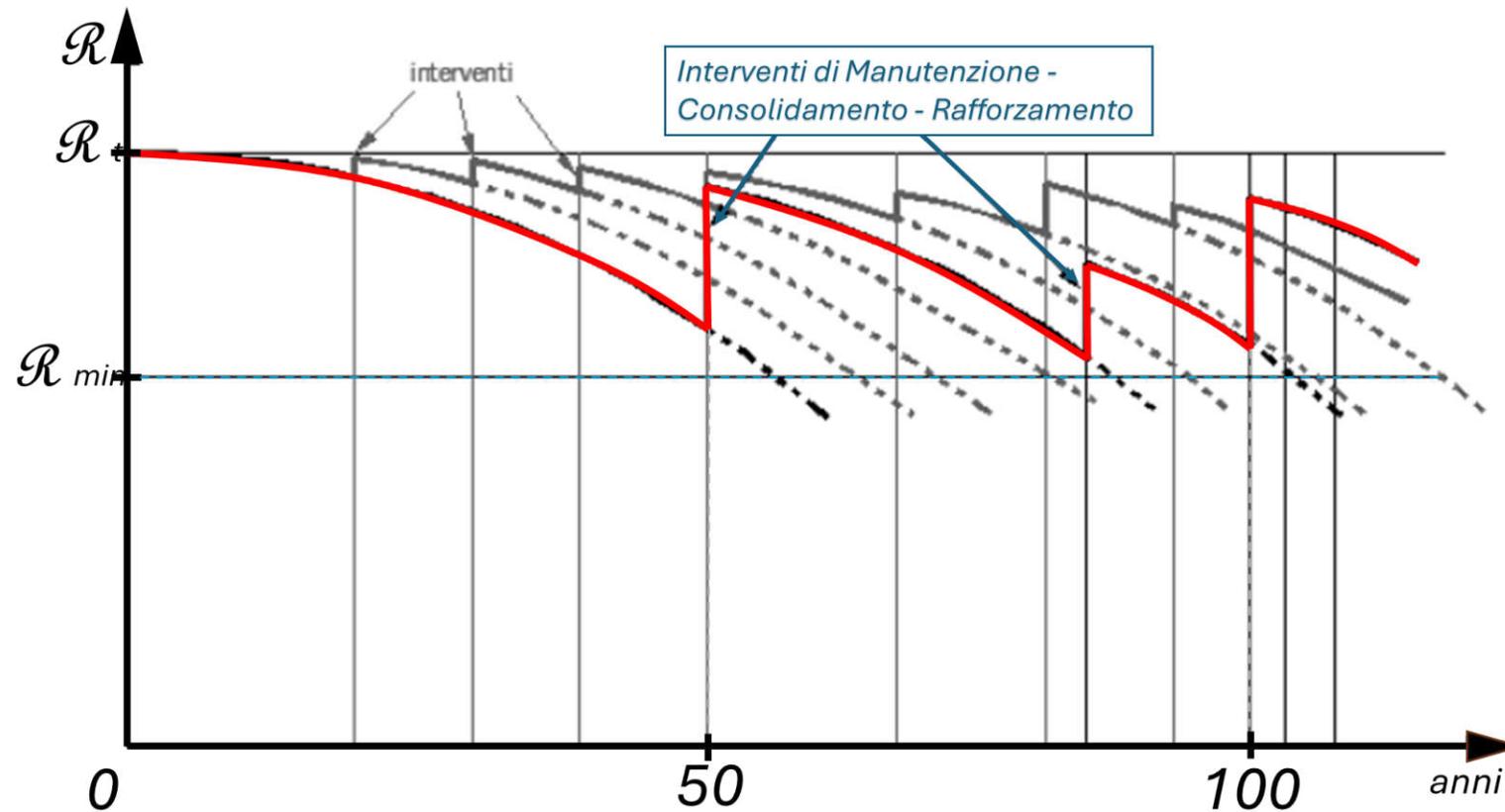
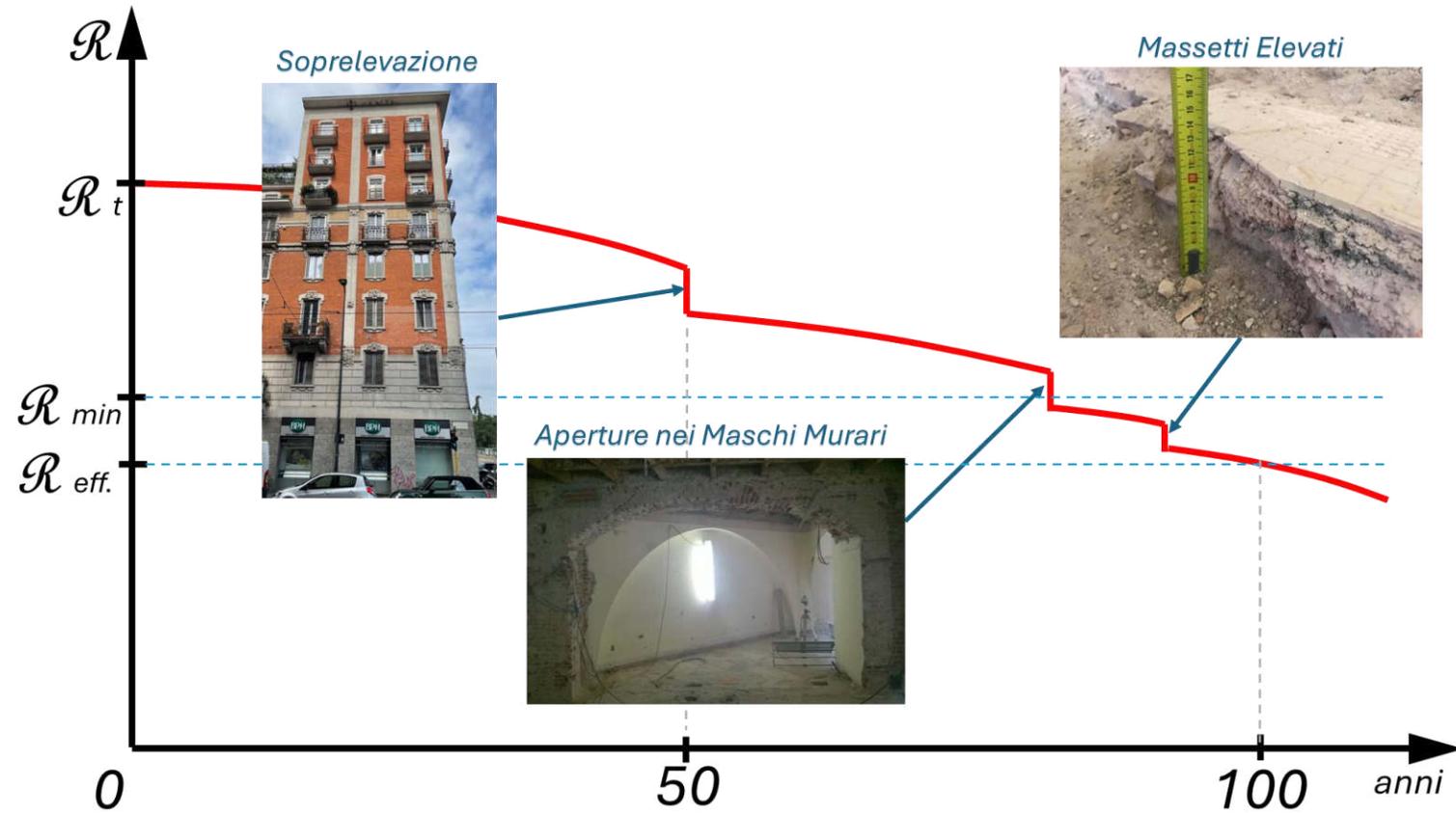
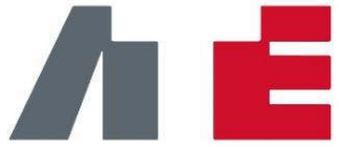


Figura C2.1 Evoluzione dell'affidabilità strutturale e del periodo di vita nominale in funzione delle strategie di intervento, in Circolare NTC §C2.4.1 (Vita nominale di Progetto)

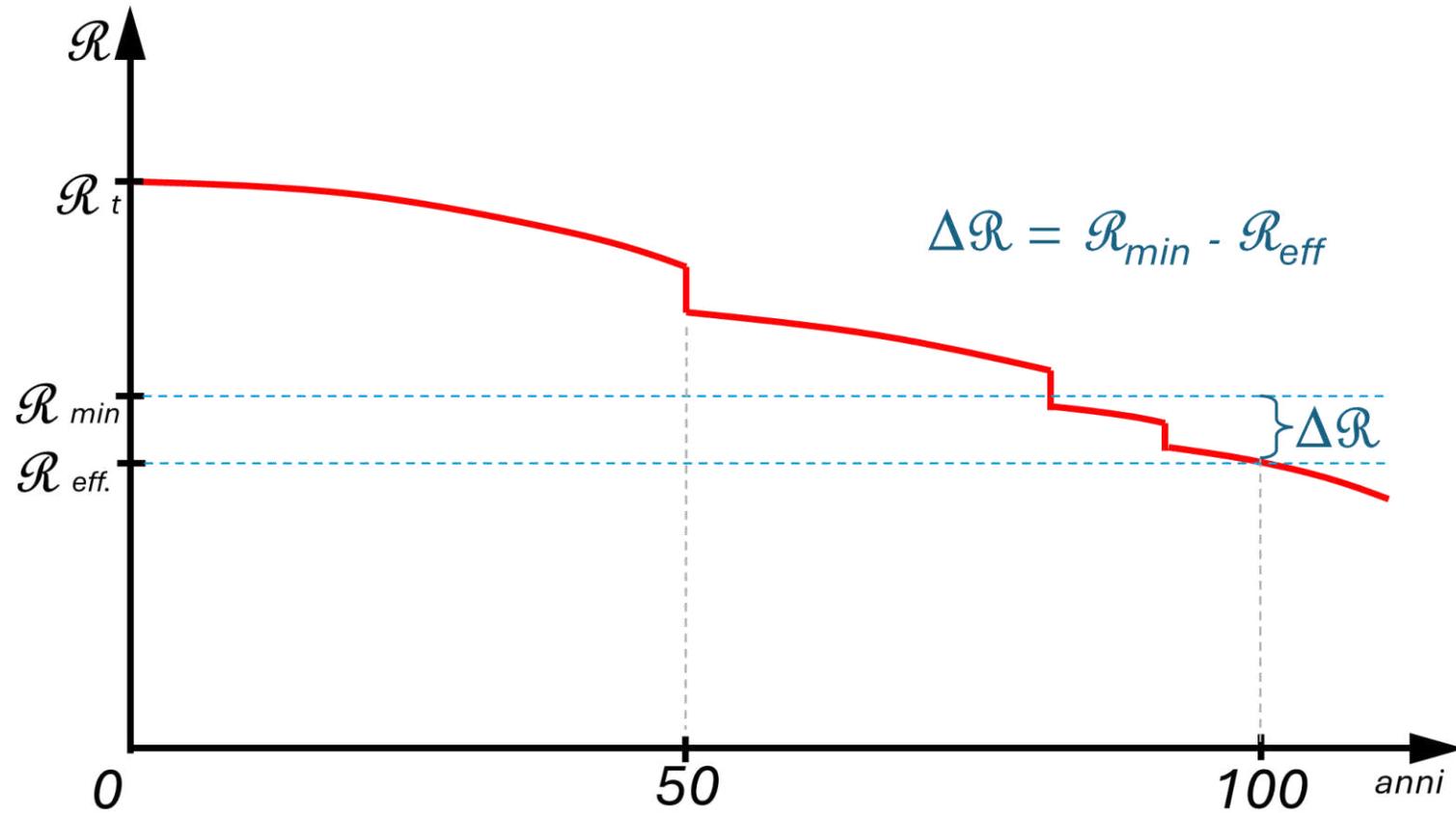


TEMPO REALE E TEMPO DI RITORONO



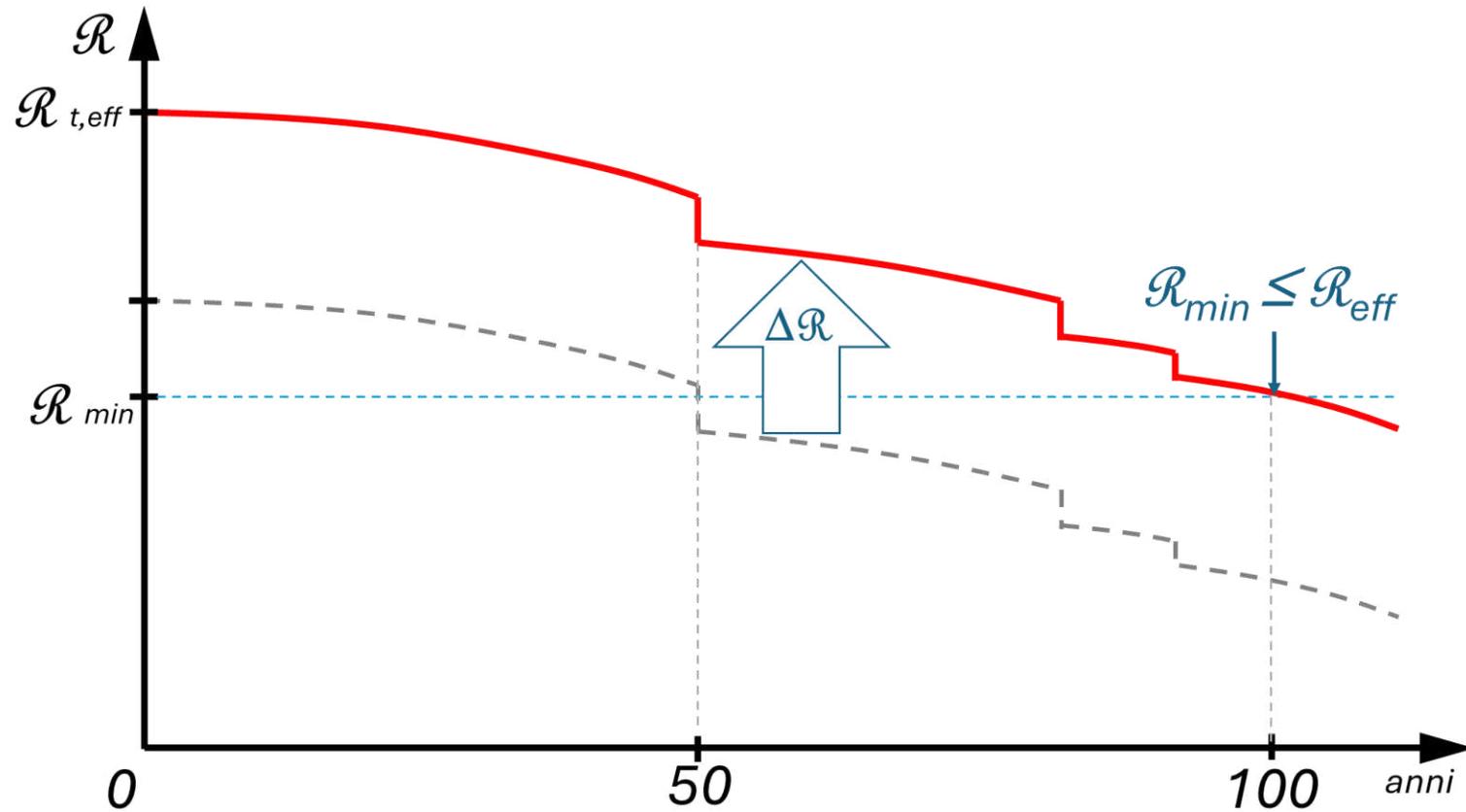


TEMPO REALE E TEMPO DI RITORONO





TEMPO REALE E TEMPO DI RITORONO





SOLLECITAZIONI

ALZARE L'ASTICELLA



RESISTENZE DI PROGETTO

SOLLECITAZIONI REALI

RESISTENZE

$$\mathcal{R}(\dots; f_{k,REALE})$$

RESISTENZE EFFETTIVE RILEVATE

VERIFICA → STATO DI SALUTE DELLA STRUTTURA

VN 100 anni

Verifica Negativa

EFFETTIVE IN 100 ANNI

$$\mathcal{R}(\dots; f_{k,NTC})$$

RESISTENZE DI PROGETTO

SOPRALZI INTERVENTI APERTURE...

RESISTENZE DI PROGETTO

Verifica Positiva

VN 50 anni

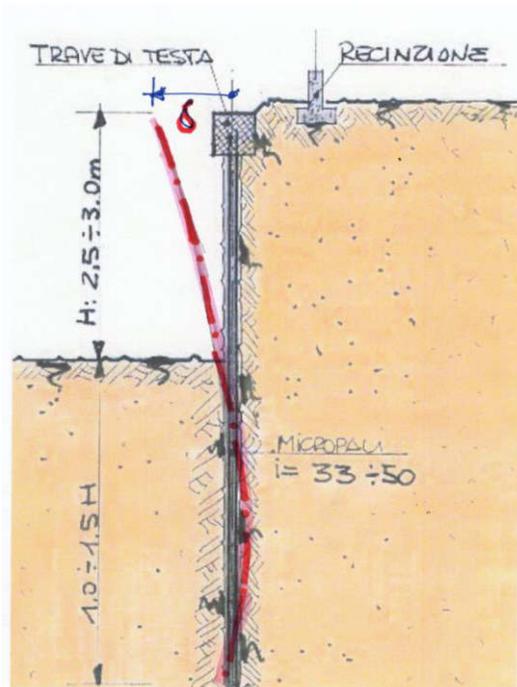
$$f_{k,REALE} > f_{k,NTC}$$

OVVIAMENTE

PROGETTO

REALTÀ TEMPO > 100 ANNI

Caso A: Progettazione di una berlinese a sbalzo



Impresario:

“Ingegnere Sta su, ne ho già fatte tante...”

Ingegnere:

“Ci vuole il contrasto perché altrimenti flette...” Con nessuna Normativa si può evitare questa inflessione

Quindi: Si mette il contrasto, perché se altre sono state su, non si può dimostrare che questa sta su:

L'ingegnere si adatta alla Normativa.

Caso B: Lavori su un palazzo esistente di oltre 100 anni



Committente:

“Ingegnere Sta su, è lì così da 40 anni (sopralzato) !!!! ...”

Ingegnere:

“Sì, ma... Ehm... La Normativa..., l'eccentricità... ..”

Committente:

“???? Ma scusi, se è così da 100 anni e da 40 è stato sopralzato ???”

Ingegnere:

“... ehm... Vabbè trattiamolo come Intervento Locale...”

La Normativa si deve adattare alla REALTÀ.



CONTINUARE A COSTRUIRE IN MURATURA?



- Appare chiaro come per le costruzioni in muratura la normativa sia cautelativa-ristrettiva per la muratura
 - Gli edifici in muratura, al contrario, per come ci sono giunti, hanno superato spesso oltre un secolo senza particolari manutenzioni, anzi subendo delle "de-manutenzioni"
 - Comprovata adattabilità e robustezza
- Vita più lunga del C.A. e Acciaio

Un migliore impatto ambientale che un edificio in muratura ha rispetto altre tipologie costruttive?



GRAZIE PER L'ATTENZIONE.

info@mcingegneria.com – www.mcingegneria.com

+39 02 / 66703684