

POLITECNICO DI MILANO



Corso "Rischio sismico e sicurezza delle costruzioni in Lombardia"

24 febbraio 2017

EFFETTI DEL SISMA SUGLI EDIFICI STORICI IN MURATURA

Giuliana Cardani
 Ricercatore presso il Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale - DICA

2



Sisma 2016

Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO

3



Sisma 2016

Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO

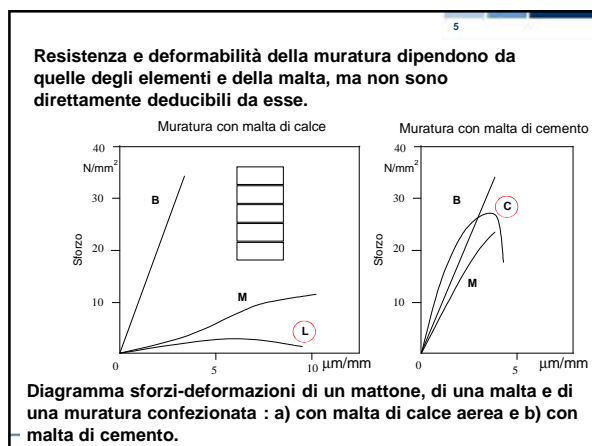
4

“ LA MURATURA ”

La muratura è un materiale disomogeneo, costituito dall'assemblaggio di mattoni o pietre con malta, con modalità variabili. Trattandosi di un materiale composito, il suo comportamento strutturale dipende sia dalle caratteristiche dei singoli elementi costituenti, ma soprattutto dalle loro interazioni.

Il termine muratura descrive un insieme estremamente diversificato, non solo dal punto di vista dei materiali componenti, ma anche della tecnica costruttiva secondo realtà territoriali e storiche in relazione quindi alle caratteristiche dei materiali locali, alla facilità di reperimento e alle capacità delle maestranze locali.

Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO



6

Importanza della "CONOSCENZA" dell'edificio

Gli edifici storici a **struttura muraria** sono parte di tipologie spesso molto differenziate tra di loro in base alla funzione alla quale erano destinati:

- templi
- chiese
- conventi
- case
- castelli
- arene
- ponti e viadotti....

Definizione del
TIPO DI EDIFICIO

Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO



9

Importanza della “CONOSCENZA” dell’edificio



Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO

10

Importanza della “CONOSCENZA” dell’edificio

Si passa da strutture semplici a strutture molto complesse con problematiche specifiche legate alla funzione dell’edificio. Tali differenze così come hanno influenzato le soluzioni costruttive originarie, influenzeranno la verifica strutturale (vincoli, leggi costitutive) e le tecniche di intervento (diversi livelli di indagine, di modellazione e verifica).

Diverse tipologie hanno diverse resistenze e diverse vulnerabilità

Diverse tipologie hanno diversi meccanismi di danno

Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO

11

Importanza della “CONOSCENZA” dell’edificio

Il professionista deve poter saper leggere le **complessità** degli edifici storici, perché facilmente non ci sono giunti a noi oggi, esattamente come sono stato realizzati secoli fa:

Dalla lettura dei documenti storico-archivistici e, spesso, da un’attenta osservazione visiva, si evince che molti edifici storici in muratura sono stati oggetto di **numerose modifiche**, ampliamenti, riparazioni più o meno efficaci o, al contrario, soggetti a lunghi periodi di totale mancanza di manutenzione, che possono aver determinato danni seri o anche crolli parziali.

Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO

12

Importanza della “CONOSCENZA” dell’edificio

Ognuno di questi eventi lascia tracce indelebili nelle strutture murarie, che spesso alterano il comportamento strutturale locale o persino globale dell’edificio, fornendo prestazioni ben lontane da quelle progettate e realizzate al momento della sua costruzione.

Gli edifici storici si rivelano talvolta intrinsecamente più deboli e tali debolezze, che rappresentano le loro **cicatrici storiche**, devono essere riconosciute, opportunamente analizzate e curate.

Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO

13


Importanza della "CONOSCENZA" dell'edificio

Maggiore è il numero di tali cicatrici presenti negli edifici storici e maggiore sarà la loro vulnerabilità soprattutto ad eventi traumatici ed improvvisi come i terremoti.



Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO


Importanza della "CONOSCENZA"



A	C	A	B
---	---	---	---


1 Fase di accrescimento di una schiera *(da Giuffrè)*

A) Cellula precedente
B) Cellula di accrescimento
C) Cellula di intasamento




Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO

15

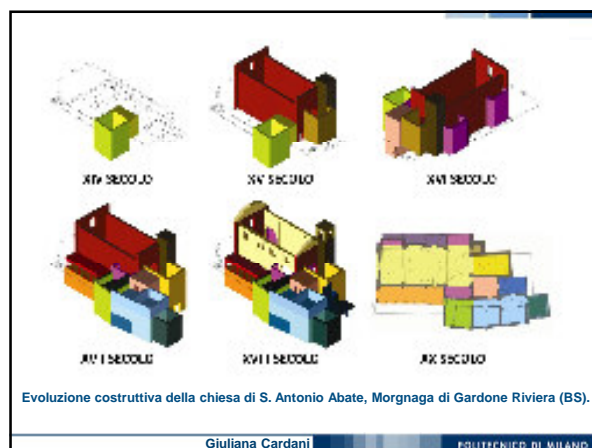
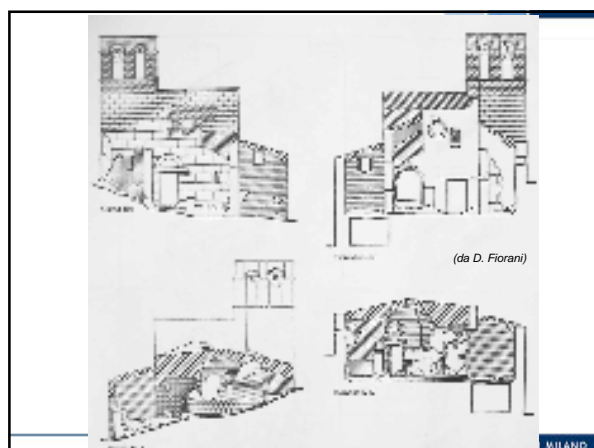
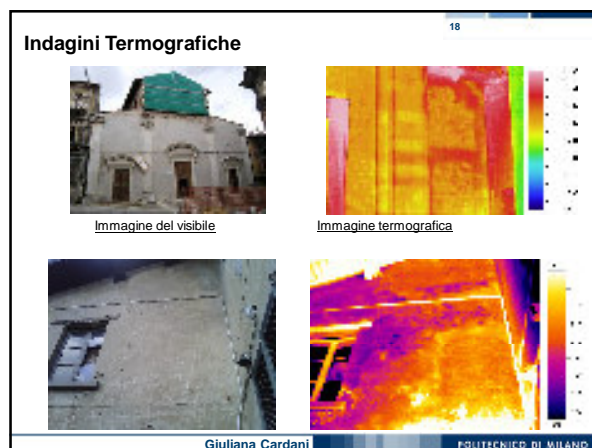


Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO

16

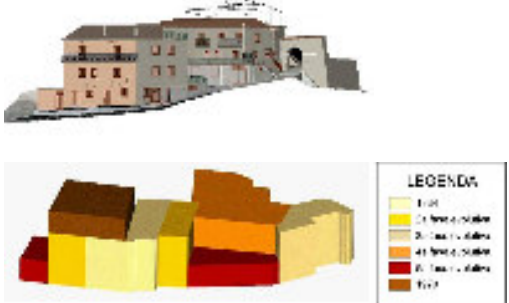


Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO



21

Importanza della “CONOSCENZA” dell’edificio



LEGENDA

- Estr.
- 1° livello
- 2° livello
- 3° livello
- 4° livello
- 5° livello

Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO

22

Importanza della “CONOSCENZA” dell’edificio

Quando possibile è bene eseguire una rappresentazione assometrica che aiuti a comprendere le pendenze del terreno e i meccanismi di danno



23

Importanza della “CONOSCENZA” dell’edificio

Spesso quindi la colpa degli innumerevoli crolli avuti durante le scosse dell’ultimo evento sismico del centro Italia, non va attribuita alla sola vetustà degli edifici o alla loro bassa qualità, quanto più alla **vulnerabilità acquisita nei secoli**.

Diventa quindi essenziale, qualora si sia scelto di intervenire su edifici in muratura esistenti, dedicare un tempo sufficiente allo studio ed alla conoscenza delle strutture portanti, su cui le nuove strutture si troveranno a gravare. Le strutture in muratura, anche quelle più semplici, **non sono standardizzabili** su vasta scala, come accade per gli edifici moderni del dopoguerra.

24

Importanza della “CONOSCENZA” dell’edificio

Il rilievo dei danni alle strutture e del loro **quadro fessurativo** diventa un tema essenziale in un progetto di conservazione, per distinguere le criticità emerse in tempi recenti, per cause attuali, da quelle originate da problemi antichi e mai risolti completamente.

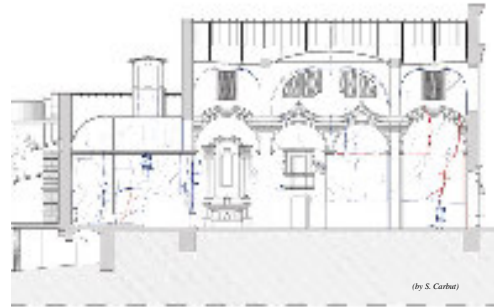
La lettura dei danni aiuta in certo senso a mettere in evidenza le debolezze intrinseche di un edificio. Le lesioni infatti tendono a formarsi dove la struttura è già più debole e in particolare dove sono presenti delle discontinuità.

Importanza della “CONOSCENZA” dell’edificio

Un buon rilievo delle lesioni quindi deve riportare localizzazione, forma, andamento e ampiezza delle lesioni e deve interessare l’intero edificio, distinguendo le lesioni che attraversano l’intera sezione degli elementi strutturali da quelle non passanti.

La visione d’insieme è essenziale per la comprensione e la valutazione dell’entità dei danni e per individuare le lesioni che, correlate tra loro, possono essere definite come gli indicatori di incipienti meccanismi di collasso futuro.

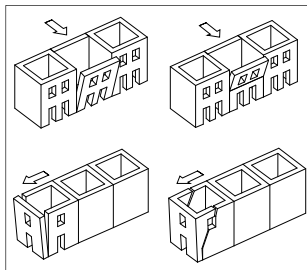
Rilevo del quadro fessurativo (in alzato)



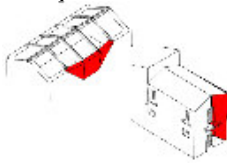
Giuliana Cardani

POLITECNICO DI MILANO

EVENTI IMPROVVISI IMPORTANTI COME I TERREMOTI DANNO ORIGINE A DIVERSI MECCANISMI DI TIPO CINEMATICO CHE DI SOLITO COINVOLGONO SOLO PARTI DELL’EDIFICIO



Dall’esame delle lesioni è possibile individuare dei meccanismi ricorrenti e quindi definibili in anticipo.



Giuliana Cardani

POLITECNICO DI MILANO

EDIFICI SINGOLI

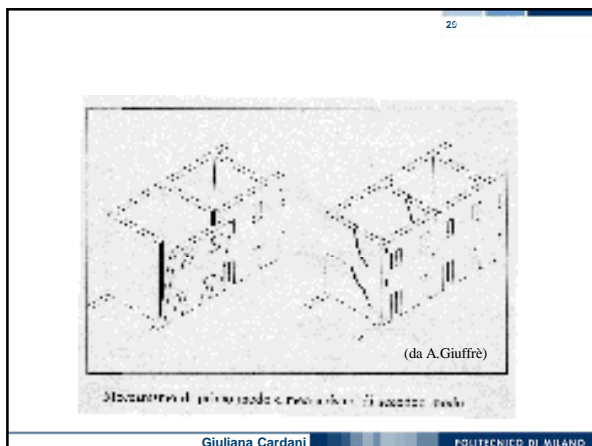
I meccanismi di danno previsti dalla pratica corrente sono in numero limitato

1. Scarse **connessioni** efficaci tra le parti costituenti la costruzione;
2. Meccanismi di ribaltamento delle pareti fuori piano (I° modo di collasso)
3. Meccanismo di rottura nel piano (II° modo di collasso)
4. Effetti di dissesti pregressi non riparati o mal riparati



Giuliana Cardani



POLITECNICO DI MILANO



30

EDIFICI IN AGGREGATO

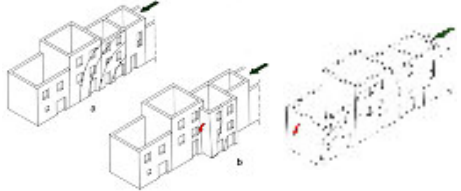
1. Il problema delle connessioni fra le murature è ancora più evidente nel caso degli aggregati urbani che si formano per accrescimenti successivi di edifici;

Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO

31

2. Un edificio inserito in una schiera può sfruttare l'azione di contrasto esercitata dalle cellule adiacenti, che si comportano come contrafforti, e presenta quindi meccanismi resistenti più efficaci;






3. La porzione di schiera che risulta più debole è quella in prossimità delle testate che si comporta come cellule isolate;

Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO

32

Per quanto concerne infine gli aggregati complessi, non si può individuare un meccanismo di danno tipico, ma va studiato caso per caso. Infatti diversi fattori, legati alla conformazione dell'aggregato, influenzano il cinematicismo globale.



MILANO

NTC 2008 e CIRC.617/2009

33

Un **AGGREGATO EDILIZIO** è costituito da un insieme di parti che sono il risultato di una **genesì articolata** e non unitaria, dovuta a molteplici fattori (sequenza costruttiva, cambio di materiali, mutate esigenze, avvicinarsi dei proprietari, etc.). Nell'analisi di un edificio facente parte di un aggregato edilizio occorre tenere conto perciò delle possibili **interazioni** derivanti dalla contiguità strutturale con gli edifici adiacenti, connessi o in aderenza ad esso. A tal fine dovrà essere individuata, in via preliminare, l'**unità strutturale (US)** oggetto di studio, evidenziando le azioni che su di essa possono derivare dalle unità strutturali contigue. **La porzione di aggregato che costituisce l'US dovrà comprendere cellule tra loro legate in elevazione ed in pianta da un comune processo costruttivo, oltre che considerare tutti gli elementi interessati dalla trasmissione a terra dei carichi verticali dell'edificio in esame.**

Giuliana Cardani

POLITECNICO DI MILANO

ABACO DEI MECCANISMI DI DANNO

34

Dalle **esperienze dei passati terremoti** è possibile trarre insegnamenti di validità generale.

E' possibile formulare un abaco dei meccanismi di danno riferito alle **tipologie edilizie di un luogo specifico**, dove gli edifici presentano caratteristiche simili.

Ricercando i quadri fessurativi provocati dai passati terremoti è possibile leggere gli indicatori dell'innescò del meccanismo di collasso. Compito dell'analisi è estrapolare dall'osservazione del quadro fessurativo presente dati che confrontati con i meccanismi passati danno un **quadro di eventi prevedibili**.

L'abaco dei meccanismi di collasso vuole fornire dei singoli **esempi elementari** di danno che consentano di comprendere i principali stati fessurativi

Giuliana Cardani

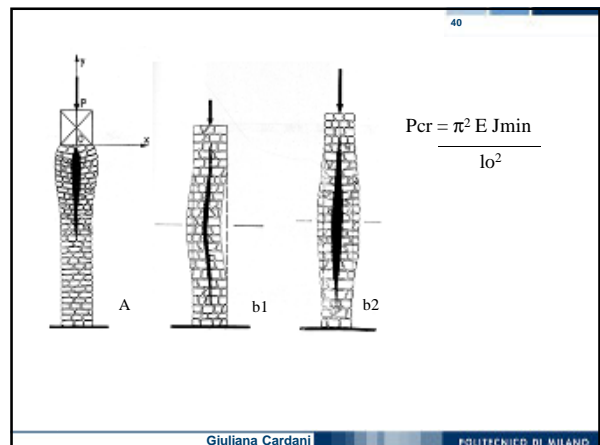
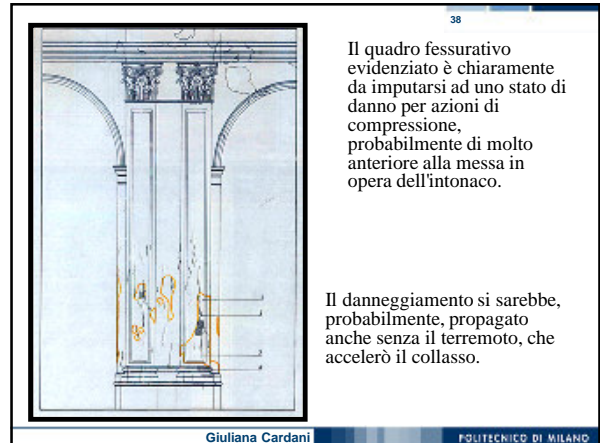
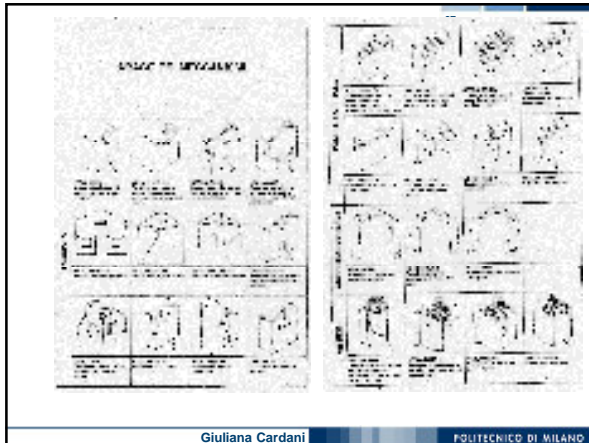
POLITECNICO DI MILANO

IL RILIEVO DEL DANNO DEGLI EDIFICI MONUMENTALI
(G.U. n. 55 del 07/03/2006 - DECRETO DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI 23 febbraio 2006: Approvazione dei modelli per il rilevamento dei danni, a seguito di eventi calamitosi, ai beni appartenenti al patrimonio culturale)

















SCHEDA PER IL RILIEVO DEL DANNO AI BENI CULTURALI –
CHIESE (Modello A-DC)

Giuliana Cardani

POLITECNICO DI MILANO



41

Fotografia	Rilievo	Modello	Comport. meccanico	Fotografia	Rilievo	Modello	Comport. meccanico
							
							

Schema del comportamento meccanico ipotizzato per ogni classe tipologica di sezioni murarie.

Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO

Fenomeni di uscita dal piano con meccanismi; sotto carichi orizzontali, per espulsione localizzata degli strati esterni.




Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO

43

Importanza della "CONOSCENZA" dell'edificio

La conoscenza dell'edificio è richiesta sia nelle

NTC 2008 (Livelli di Conoscenza)

che nelle

Linee Guida per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale (*percorso della conoscenza*)

Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO

44

Importanza della "CONOSCENZA" dell'edificio

Le NTC del 2008 organizzano la qualità della conoscenza su tre possibili livelli, in funzione di un minore o maggiore approfondimento della conoscenza del manufatto. Ad ogni **LIVELLO DI CONOSCENZA** LC1, LC2 e LC3 è associato un corrispondente valore per il "fattore di confidenza" (rispettivamente: 1.35, 1.20 e 1), che modifica il valore da utilizzare per le analisi e le verifiche.

Gli argomenti attraverso i quali si definisce il livello di conoscenza sono tre:

- la geometria,
- i dettagli costruttivi
- le proprietà dei materiali

Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO

45

In realtà la definizione è più complessa,, come accolto dalle NTC 08.

NTC del 14.01.2008 e Circolare esplicativa n. 617/2009, relativamente alle murature di strutture esistenti, tra le diverse voci innovative: attribuiscono grande rilievo alla **QUALITÀ MURARIA proponendo i valori caratteristici di resistenza e rigidezza delle murature in funzione della tipologia muraria.**

Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO

46

Tipologia di muratura	R _k (N/mm ²)		G _k (N/mm ²)		n
	Minimo	Max	Minimo	Max	
Muratura in pietra: disassata (strada, paese vecchio e annessi)	100	2,0	600	200	10
Muratura in cotto sboccato, con paramento di mattoni coprente e sacco teso	100	4,0	1000	400	10
Muratura in cotto sboccato, con paramento di mattoni coprente e sacco teso	100	5,0	1000	400	20
Muratura in pietra a spacco con faccia levata	200	5,0	1000	500	10
Muratura in pietra a spacco con faccia levata	100	7,0	1000	600	20
Muratura in cotto di pieno spessore, calcinato, ecc.	140	2,0	900	200	10
Muratura in cotto di pieno spessore, calcinato, ecc.	140	4,0	1000	400	10
Muratura in blocchi lapidei regolari	600	10,0	1000	100	10
Muratura in blocchi lapidei regolari	600	12,0	1000	100	10
Muratura in pietra grezza e sacco di cotto	100	2,0	1000	400	10
Muratura in pietra grezza e sacco di cotto	100	4,0	1000	400	10
Muratura in pietra grezza e sacco di cotto (con spessore di paramento > 40%)	100	10,0	1000	400	10
Muratura in pietra grezza e sacco di cotto (con spessore di paramento > 40%)	100	12,0	1000	400	10
Muratura in pietra grezza e sacco di cotto (con spessore di paramento > 40%)	100	15,0	1000	400	10
Muratura in pietra grezza e sacco di cotto (con spessore di paramento > 40%)	100	18,0	1000	400	10
Muratura in pietra grezza e sacco di cotto (con spessore di paramento > 40%)	100	20,0	1000	400	10
Muratura in blocchi di calcinaccio o gesso regolari (spessore > 40%)	150	5,0	1000	400	10
Muratura in blocchi di calcinaccio o gesso regolari (spessore > 40%)	200	12,0	1000	400	10
Muratura in blocchi di calcinaccio o gesso regolari (spessore > 40%)	300	18,0	2000	600	10
Muratura in blocchi di calcinaccio o gesso regolari (spessore > 40%)	400	24,0	3000	800	10

Tabella C8A.2.1 (NTC del 14.01.08).

Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO

47

Importanza della “CONOSCENZA” dell’edificio

Relativamente ai “**DETTAGLI COSTRUTTIVI**”, per a NTC 08 si tratta di indagare su:

- collegamenti tra gli elementi (pareti, pareti e orizzontamenti, cordoli),
- presenza ed efficienza di architravi,
- presenza di elementi non strutturali ad elevata vulnerabilità,
- presenza di elementi in grado di eliminare le spinte eventualmente presenti,
- **tipologia della muratura** (ad uno o più paramenti, a sacco, con o senza collegamenti trasversali, ecc)
- caratteristiche costruttive (mattoni o in pietra, regolare, irregolare, listata, ecc).

Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO

48

Tuttavia la resistenza dell’edificio, non è legata solo alla qualità del muro, ma anche all’**assemblaggio strutturale**. Per questo motivo va osservata la struttura delle coperture e dei solai, il loro ammassamento con la muratura, la costituzione delle volte che va messa in correlazione con lo spessore dei muri su cui sono appoggiate e i dettagli delle scale.




Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO

49

“LA MURATURA in PIETRA”

descrizione della geometria e della morfologia della tessitura muraria;

Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO

50

ELEMENTI LAPIDEI		
Forma	Lavorazione	Schema Grafico
Ciottoli	Assente	
Blocchi erratici	Assente	
Lastre	Parziale, appena accennata	
Bozze	Parziale, appena accennata	
Bugnati	Spigoli finiti e facce non lavorate	
Conci	Spigoli finiti e facce spianate	

Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO

51

lavorazione

Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO


52

ORIZZONTALITÀ DEI FILARI

Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO


53

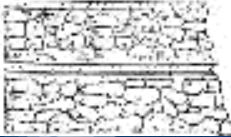
Ricorsi



ABACO DELLE TESSITURE MURARIE

Zeppe

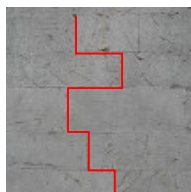

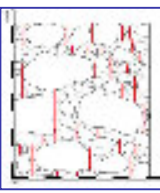




Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO

54

ABACO DELLE TESSITURE MURARIE

SFALSAMENTO DEI GIUNTI VERTICALI

Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO

55

Manuale per la compilazione della scheda di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica (AEDES)

3.2. Edifici in muratura
3.2.1 Strutture verticali e Abaco delle murature

La Scheda, prevede una distinzione delle strutture in muratura in due classi in funzione della loro vulnerabilità e resistenza:

Muratura di tipo I:
a tessitura irregolare e di cattiva qualità

Muratura di tipo II:
a tessitura regolare e di buona qualità

3.2.1.1. Abaco

Tipologia	Abaco	Abaco	Abaco
1.1	1.1	1.1	1.1
1.2	1.2	1.2	1.2
1.3	1.3	1.3	1.3
1.4	1.4	1.4	1.4

Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO

56

RILIEVO DELLA TESSITURA MURARIA
 non solo dal prospetto ma anche della sua **SEZIONE TRASVERSALE.**

Un aspetto importante delle indagini consiste nel definire la tessitura muraria e la geometria della sezione:





Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO

57

Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO

58

Definizioni derivanti dall'osservazione del prospetto:

Tessitura muraria a corsi suborizzontali

Tessitura regolare

Tessitura muraria a corsi irregolari

Tessitura irregolare

Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO

59

ABACO DELLE SEZIONI MURARIE

Muratura a paramento unico

Muratura a due paramenti

oltre i 2/3 dello spessore diatono

ben ammassati parzialmente ammassati accostati

Muratura a tre paramenti

Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO

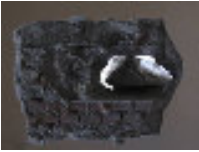
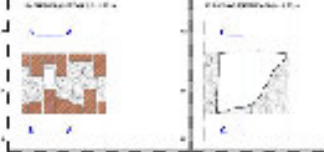
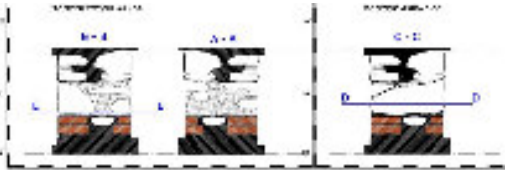
60

Ex-ospedale di S. Paolo di Savona

Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO

61






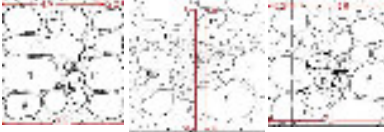
Ex-ospedale di S. Paolo di Savona

Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO

62

SAGGI NELLE MURATURE

Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO

63

Smontaggio di una porzione di muratura



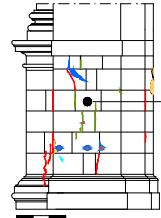





Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO


64

ISPEZIONE E PRELIEVO MEDIANTE CAROTTAGGIO

Schema di un carottaggio praticato in un pilastro

- Calcestruzzo
- Stato degradato
- Travertino
- Grato di metallo
- Stati



Giuliana Cardani

65

ISPEZIONE MEDIANTE ENDOSCOPIO

Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO

66

Radargramma elaborato del profilo acquisito sul lato est con l'antenna da 1GHz. Con il tratteggio chiaro è indicata la profondità del concio; con il tratteggio scuro invece il termine del paramento in rilievo. Con le frecce bianche sono indicate le iperboli che evidenziano la presenza di un piccolo vuoto.

Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO

TOMOGRAFIA AD ULTRASUONI

sfrutta la riflessione di brevi impulsi di onde elastiche ad opera di fessure, cavità, armature e altre discontinuità presenti nel materiale (metodo pulse-echo).

Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO

68

RILIEVO DELLE TESSITURE MURARIE - Cascina Rosa

D2 - muratura stalla (1834-1836)	D3 - sottotetto (dopoguerra)	D11- lesena stalla (1834-1836)	D14 - pilastro portico (1834-1836)

Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO



70

Codice	Definizione contenuta nell'ordinanza 327/2006, nella tabella 11.D.1 e in tabella C8A.1 della NTC 14.01.08.	Proposta di modifica della definizione di tipologia (RELUIS)	Esempi di tessiture murarie	
A	Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	Muratura in pietrame (ciottoli, pietre erratiche, ecc.), disordinata per forma, dimensione e tipo di materiale degli elementi. Muratura a fissa lenice.		
B	Muratura a conci sbalzati, con paramento di limito spessore e nucleo interno.	Muratura a conci sbalzati, di dimensioni variabili e con prevalenza di filari orizzontali.		
C	Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	Muratura in pietre a spacco (anche di forma irregolare) con buona tessitura (pietre ben ammorzate)		
D	Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenile, ecc.)	Muratura a blocchi squadrati di pietra tenera (tufo, calcarenile, ecc.)		
E	Muratura a blocchi lapidei squadrati	Muratura a blocchi squadrati di pietra non tenera		
F	Muratura in mattoni pieni e mata di calc.	Nessuna modifica		

Proposta di modifica di alcune definizioni di tipologia muraria, relative solo agli edifici storici, con schema grafico identificativo.

Tabella C8A.2.1 (NTC del 14.01.08).

Tipologia	Classe	Classe	Classe	Classe	Classe
Muratura in pietrame	1	2	3	4	5
Muratura a conci sbalzati	1	2	3	4	5
Muratura in pietre a spacco	1	2	3	4	5
Muratura a conci di pietra tenera	1	2	3	4	5
Muratura a blocchi lapidei squadrati	1	2	3	4	5
Muratura in mattoni pieni	1	2	3	4	5

POLITECNICO DI MILANO



73

CONCLUSIONI

La salvezza di un territorio si basa sulla **PREVENZIONE**

- **Conoscere le tecniche costruttive storiche**
- **Vedere la loro diffusione sul territorio ed individuare le tipologie ricorrenti**
- **Riconoscere i presidi storici**
- **Eeguire un sufficiente progetto delle indagini diagnostiche**
- **Osservare i meccanismi di danno ricorrente**
- **Non snaturare la struttura originale. Non riportare proprio ad interventi non compatibili.**

Giuliana Cardani POLITECNICO DI MILANO