



Lunedì 5 dicembre ore 14.15

Cittadella dell'Edilizia

Via Banchina dell'azoto, 15 - Marghera

in collaborazione con:



DICEA

**Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale
Università di Padova**

Indagini conoscitive sugli edifici esistenti: fasi, livelli di conoscenza e tecniche utilizzabili



Ing. Filippo Casarin

**Dottore di Ricerca, Direttore Tecnico EXPIN srl
spinoff dell'Università di Padova**

casarin@expin.it www.expin.it

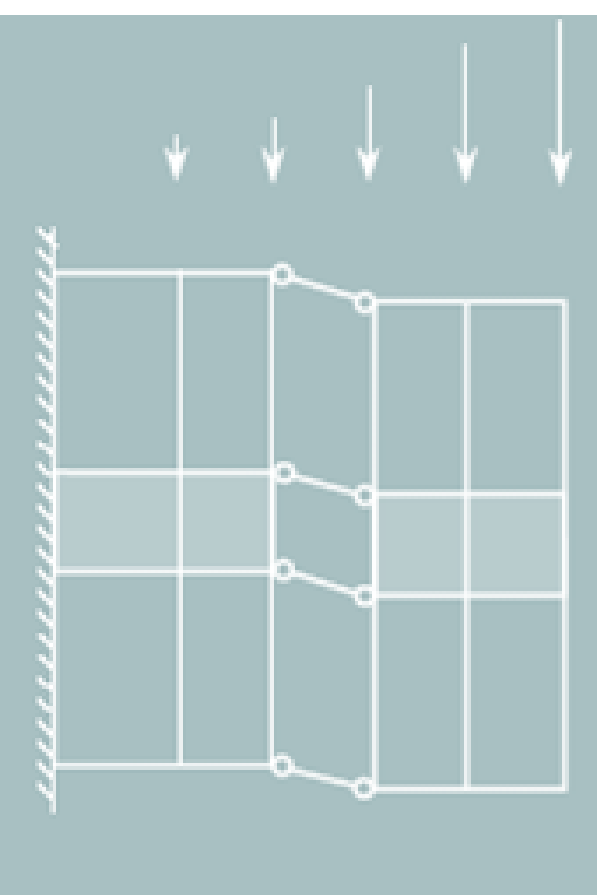
SOMMARIO

- **MOTIVAZIONE / NORMATIVA**
- **IL PROGETTO DELLA CONOSCENZA, LIVELLI DI CONOSCENZA, FATTORI DI CONFIDENZA**
- **TECNICHE DI INDAGINE (IN SITO E IN LABORATORIO)**
- **ESEMPI APPLICATIVI**



Serve la diagnostica strutturale?









ORDINANZA P.C.M. 3274 20/03/03:

Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica

Allegato 2: Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l' adeguamento sismico degli edifici

ORDINANZA P.C.M. 3431 03/05/05:

Ulteriori modifiche ed integrazioni all' Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20/03/03

NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI, D.M. 14/09/05 (ex Testo Unico):

Recepimento dell' Ordinanza P.C.M. 3431, 03/05/05

NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI, D.M. 14/01/08 (G.U. n.29 del 4/2/08

suppl. ord. n.30)

Entrate in vigore lo 01/07/2009

Circolare Min. delle Infr. e dei Trasp. n. 617 2/2/09 (G.U. n. 47 del 26/2/09 - Suppl. Ord. n.27) - Istruzioni per l'applicazione delle «Norme Tecniche per le Costruzioni» di cui al D.M. 14/01/2008



2017




Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Direzione Generale Condotte

BOZZA DI REVISIONE DELLE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

Al fine di consentire la massima comprensione del testo, la presente versione del documento riporta in maniera inalterabile (con testo in colore rosso) tutte le modifiche intervenute, nel corso della procedura di concertazione interministeriale, rispetto al testo allegato al parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n.53/2012, espresso nell'Adunanza dell'Assemblea Generale del 14 novembre 2014.
Tra queste, evidenziate in **verde**, sono riportate le modifiche da ultimo richieste dal Dipartimento per la Protezione Civile con nota n. 58/062/712 del 01/06/2016

di cui al parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n.53/2012, espresso nell'Adunanza dell'Assemblea Generale del 14 novembre 2014



CERTIFICATO DI RISCHIO SISMICO



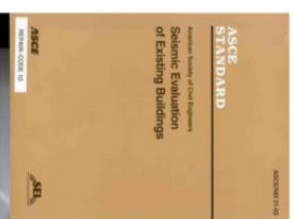


**Eurocodice 8: PROGETTAZIONE DELLE STRUTTURE PER LA RESISTENZA
SISMICA - Parte 3: valutazione ed adeguamento degli edifici UNI En 1998-3**



**FEMA (1998) Handbook for the seismic evaluation of
existing buildings. A Prestandard. Fema 310. Building
Seismic Safety Council. Washington, D.C., 1998**

**FEMA (2000), Prestandard and Commentary for the
Seismic Rehabilitation of Buildings. Fema 356.
American Society of Civil Engineers. Reston, VA, 2000.**



**Seismic Evaluation of Existing Buildings, ASCE/SEI 31-
03, the American Society of Civil Engineers, ASCE**



ISO 13822:2010 – bases for design of structures – assessment of existing structures

8 Assessment based on satisfactory past performance

8.1 Assessment of safety

Structures designed and constructed based on earlier codes, or designed and constructed in accordance with good construction practice when no codes applied, may be considered safe to resist actions other than accidental actions (including earthquakes) provided that

- careful inspection does not reveal any evidence of significant damage, distress or deterioration;
- the structural system is reviewed, including investigation of critical details and checking them for stress transfer;
- the structure has demonstrated satisfactory performance for a sufficiently long period of time for extreme actions due to use and for the occurrence of environmental effects;
- predicted deterioration taking into account the present condition and planned maintenance ensures sufficient durability; and
- there have been no changes for a sufficiently long period of time that can significantly increase the actions on the structure or affect its durability, and no such changes are anticipated.

NOTE If quantitative detailed information is available, satisfactory past performance against accidental actions (including earthquakes) can be taken into account.

DIRETTIVA P.C.M. PATRIMONIO CULTURALE, 12/10/2007
(G.U. n. 24 del 29/1/08 suppl. ord. n.25)

Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale

DIRETTIVA P.C.M. PATRIMONIO CULTURALE, 09/02/2011
(G.U. n. 47 del 26/02/11 suppl. ord. n.54)

Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale

UNI EN 16096 (2012): Conservation of cultural property - Condition survey and report of built cultural heritage

CEN TC 346 - Conservation of Cultural Property

The main objective of CEN/TC 346 is drafting European standards which will help conservation professionals in their conservation and restoration work. It will also ensure that European experts can exchange information on test and analysis methods for the conservation of cultural heritage. This standardisation activity will harmonise and unify methodologies in the European area.

RECOMMENDATIONS FOR THE ANALYSIS, CONSERVATION AND STRUCTURAL RESTORATION OF ARCHITECTURAL HERITAGE

ICOMOS ISCARSAH GUIDELINES - 2003

3.2

Dati richiesti in ingresso

(1) In generale, si raccomanda che le informazioni per la valutazione strutturale contengano i seguenti punti, da a) ad i).

a) Identificazione del sistema strutturale e della sua conformità ai criteri di regolarità nella EN 1998-1:2004, punto 4.2.3. Le informazioni dovrebbero essere raccolte o sulla base di indagini di sito o di disegni originali di progetto, se disponibili. In questo ultimo caso, si raccomanda di raccogliere informazioni su possibili cambiamenti strutturali dopo la costruzione.

b) Identificazione del tipo di fondazione dell'edificio.

c) Identificazione delle condizioni del terreno come classificato nella EN 1998-1:2004, punto 3.1.

d) Informazioni relative alle dimensioni globali ed alle proprietà delle sezioni trasversali degli elementi dell'edificio, le proprietà meccaniche e le condizioni dei materiali costituenti.

e) Informazioni relative a difetti identificabili dei materiali e a particolari costruttivi inadeguati.

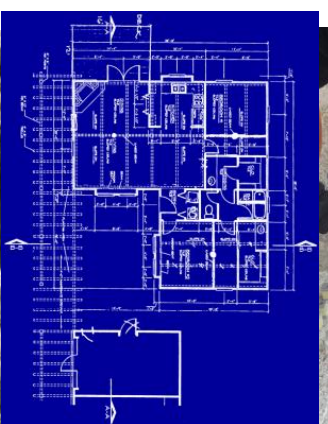
f) Informazioni sui criteri di progetto sismico usati per il progetto originale, incluso il valore del fattore di riduzione della forza (fattore q), se applicabile.

g) Descrizione della destinazione d'uso attuale e/o prevista in sede di progetto dell'edificio (con identificazione della categoria di importanza, come descritto nella EN 1998-1:2004, punto 4.2.5).

h) Rivalutazione dei carichi agenti tenendo in considerazione la destinazione d'uso dell'edificio.

i) Informazioni sulla natura e sull'entità di eventuali danni strutturali presenti o subiti in precedenza, se ci sono, incluse le riparazioni effettuate.

(2) ^P A seconda della quantità e della qualità delle informazioni raccolte nei punti sopra, devono essere usati diversi tipi di analisi e diversi valori dei coefficienti di confidenza, come indicato nel punto 3.3.



3.3

Livelli di conoscenza

3.3.1

Definizione dei livelli di conoscenza

- (1) Al fine della scelta del tipo ammissibile di analisi e dei valori appropriati del coefficiente di confidenza, sono definiti i seguenti tre livelli di conoscenza:

KL1: Conoscenza limitata
KL2: Conoscenza adeguata
KL3: Conoscenza accurata

- (2) Gli aspetti che definiscono il livello di conoscenza appropriato (cioè KL1, KL2 o KL3) sono:

- 1)** → i) *geometria*: le proprietà geometriche del sistema strutturale e degli elementi non strutturali (come i pannelli di tamponamento in muratura) che possono influire sulla risposta strutturale;

- 2)** → ii) *dettagli*: questi includono la quantità e i dettagli di armatura negli elementi in calcestruzzo armato, collegamenti tra membrature di acciaio, il collegamento dei diaframmi alle strutture resistenti alle forze laterali, le giunzioni di malta nelle murature e la natura di alcuni elementi di rinforzo nella muratura;

- 3)** → iii) *materiali*: le proprietà meccaniche dei materiali costituenti.

- (3) Il livello di conoscenza acquisito determina il metodo di analisi ammissibile (vedere punto **4.4**), oltre che i valori da adottare per i coefficienti di confidenza (CF). Le procedure per ottenere i dati richiesti sono indicate nel punto **3.4**.

- (4) La relazione tra livelli di conoscenza, metodi di analisi applicabili e coefficienti di confidenza è illustrata nel prospetto 3.1. Le definizioni dei termini "visivo", "completo", "limitato", "esteso" ed "esaustivo" nel prospetto sono indicate nel punto **3.4**.

**“NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI”
DECRETO MINISTERIALE 14/01/2008**

Cap.8 Costruzioni esistenti

definisce i criteri generali per la valutazione della sicurezza e per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo degli interventi sulle costruzioni esistenti.

Sezione 8.5 Procedure per la valutazione della sicurezza e la redazione dei progetti

8.5.1 Analisi storico-critica

8.5.2 Rilievo

8.5.3 Caratterizzazione meccanica dei materiali

8.5.4 Livelli di conoscenza e fattori di confidenza

8.5.5 Azioni

Cap. 12

definisce altri riferimenti tecnici.

Circolare al Cap. 8; Cap. 8A (appendice al cap. 8)

“DIRETTIVA P.C.M. PATRIMONIO CULTURALE, 09/02/2011: LINEE GUIDA PER LA VALUTAZIONE E RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO DEL PATRIMONIO CULTURALE”

8. COSTRUZIONI ESISTENTI – 8.5.4

Si dovrà prevedere l'impiego di metodi di analisi e di verifica dipendenti dalla completezza e dall'affidabilità dell'informazione disponibile e l'uso, nelle verifiche di sicurezza, di adeguati “**fattori di confidenza**” (F_c), che modificano i parametri di capacità in funzione del **livello di conoscenza** (LC) relativo a geometria, dettagli costruttivi e materiali.

Si riconoscono tre diversi livelli di conoscenza, attraverso i quali è possibile definire i valori medi dei parametri meccanici:

Livello di conoscenza	Geometria	Dettagli costruttivi	Proprietà dei materiali	Fattore di confidenza
LC1	Rilievo strutturale	Verifiche in situ limitate	Indagini in situ limitate	1,35
LC2		Verifiche in situ estese ed esaustive	Indagini in situ estese	1,20
LC3			Indagini in situ esaustive	1,00

... l'appartenenza ad un livello di conoscenza più alto implica anche la possibilità di considerare dei valori di resistenza più elevati...

LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA (§ C8A.1)

Dati necessari alla identificazione del livello di conoscenza

GEOMETRIA

- da rilievi, inclusi rilievi sul quadro fessurativo

DETTAGLI COSTRUTTIVI

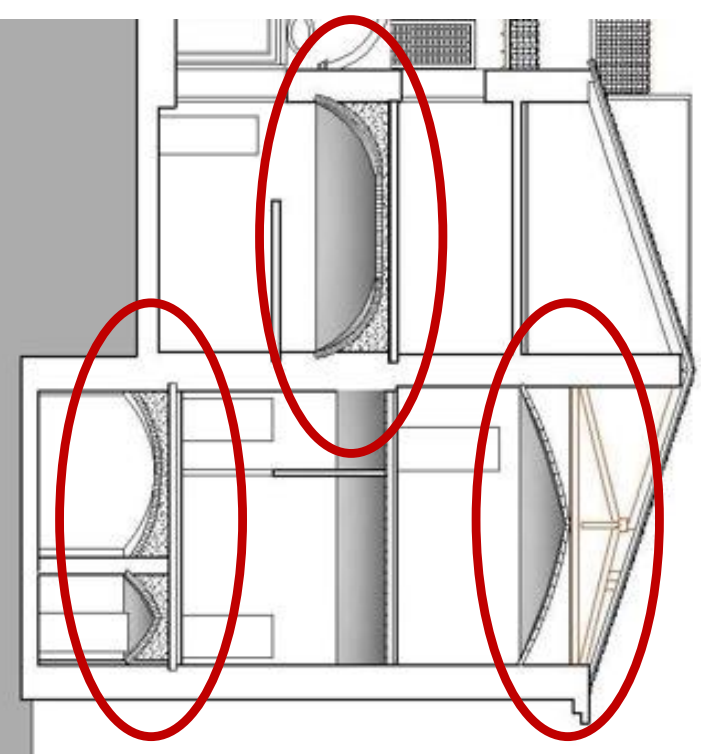
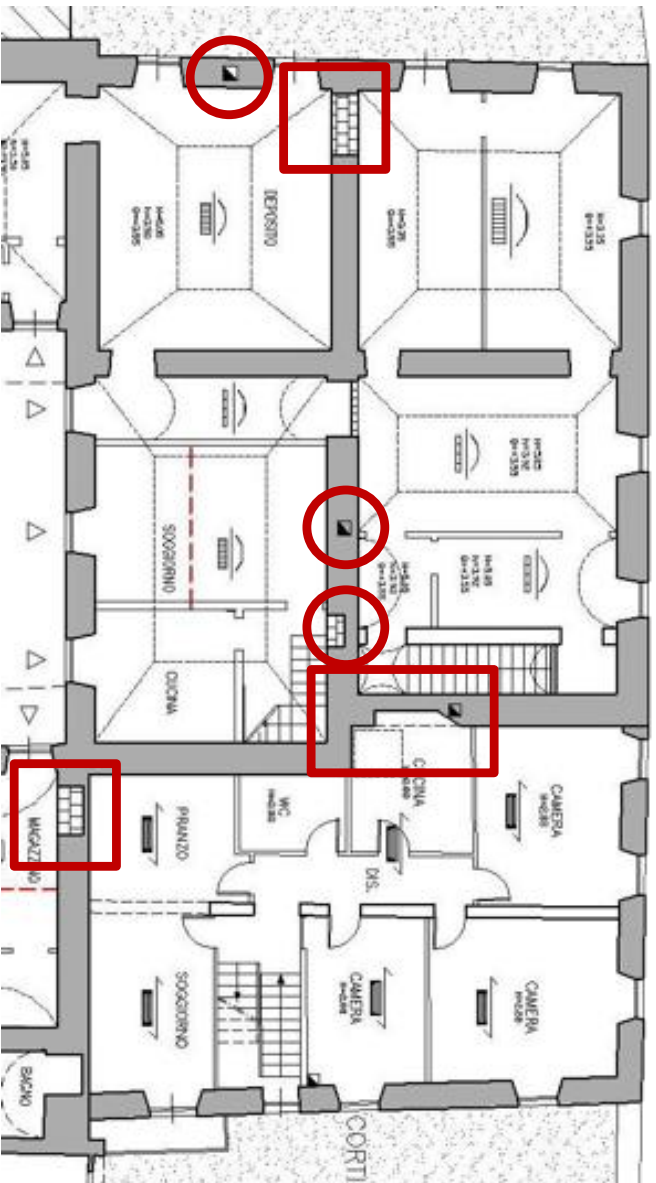
- verifiche *in situ limitate* (rimozione intonaco e saggi)
- verifiche *in situ estese ed esaustive* (saggi estesi sistematicamente)

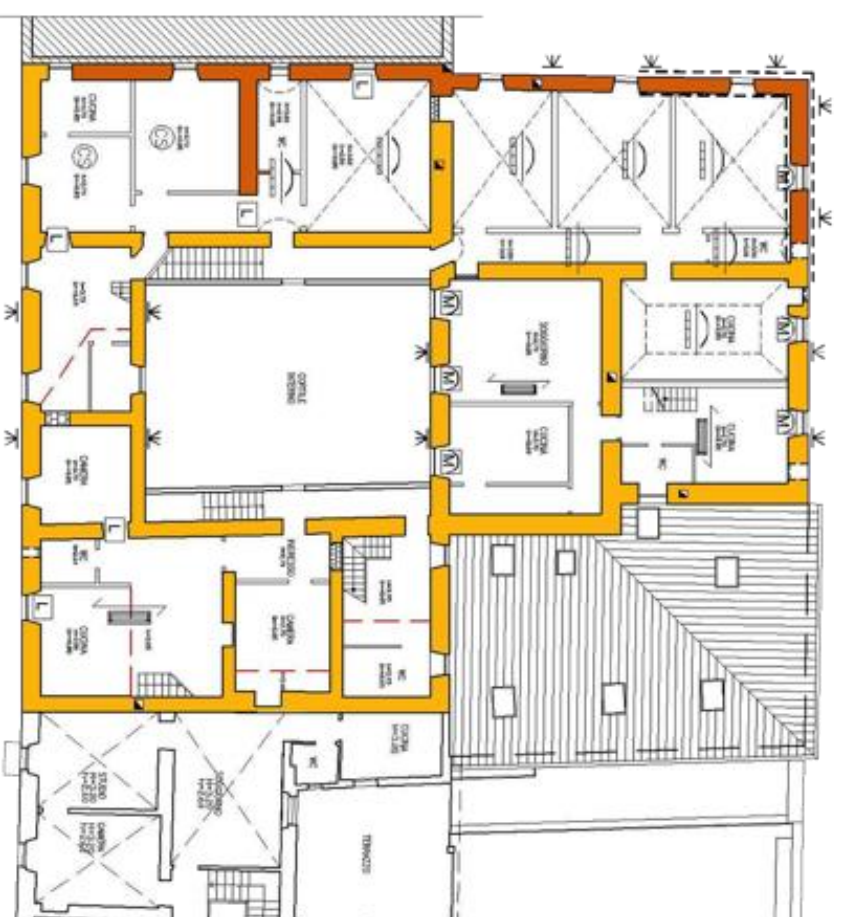
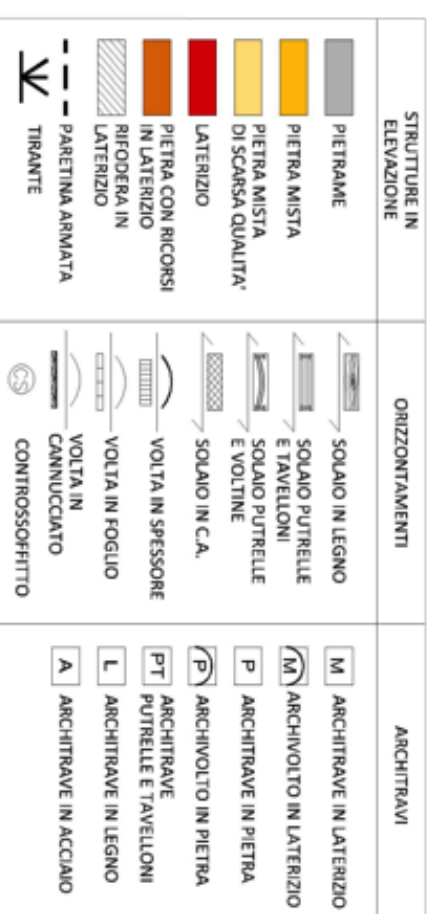
PROPRIETA' DEI MATERIALI

- indagini *in situ limitate* (indagini visive)
- indagini *in situ estese* (MDT & NDT)
- indagini *in situ esaustive* (DT)

La conoscenza della geometria strutturale di edifici esistenti in muratura deriva di regola da **operazioni di rilievo**





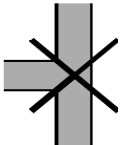
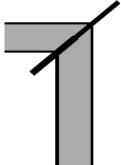

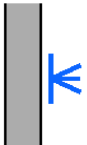
Tale operazione comprende il **rilievo**, **piano per piano**, di **tutti gli elementi in muratura** e di eventuali nicchie, cavità, canne fumarie, il rilievo delle volte, dei solai e della copertura, delle scale, la individuazione dei carichi gravanti su ogni elemento di parete e la tipologia delle fondazioni.





**TAVOLA DI SINTESI DEL RILIEVO
COSTRUTTIVO STRUTTURALE**

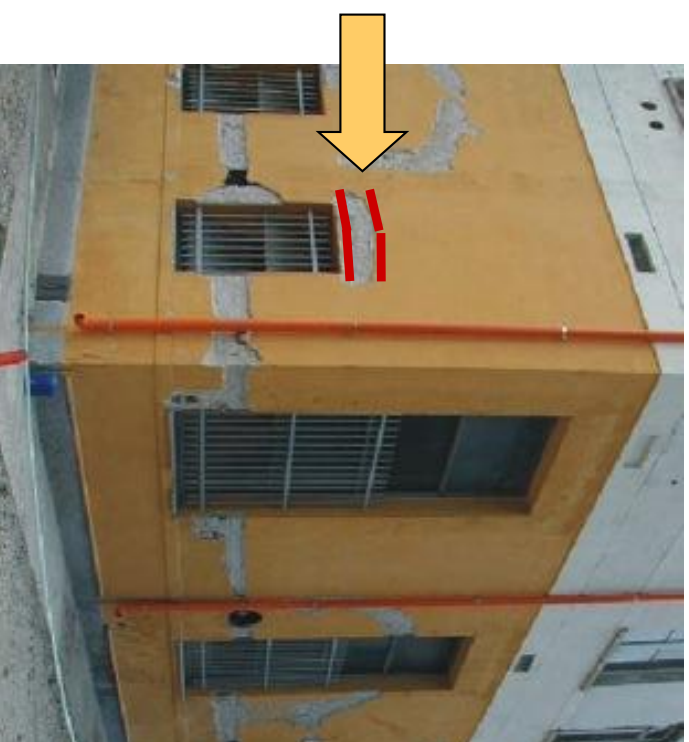
- STRUTTURE IN ELEVAZIONE**
- ORIZZONTAMENTI**
- ARCHITRAVI**

			
CROLLO	LESIONE NON PASSANTE	LESIONE PASSANTE	LESIONE DIFFUSA
			

I dettagli costruttivi da esaminare sono relativi ai seguenti elementi:

- a) qualità del **collegamento** tra pareti verticali;
- b) qualità del **collegamento** tra orizzontamenti e pareti ed eventuale presenza di cordoli di piano o di altri dispositivi di collegamento;
- c) esistenza di **architravi** strutturalmente efficienti al di sopra delle aperture;
- d) presenza di elementi strutturalmente efficienti atti ad eliminare le **spinte** eventualmente presenti;
- e) presenza di elementi, anche non strutturali, ad elevata vulnerabilità;
- f) tipologia della **muratura** (a un paramento, a due o più paramenti, con o senza collegamenti trasversali...), e sue caratteristiche costruttive (eseguita in mattoni o in pietra, regolare, irregolare...)



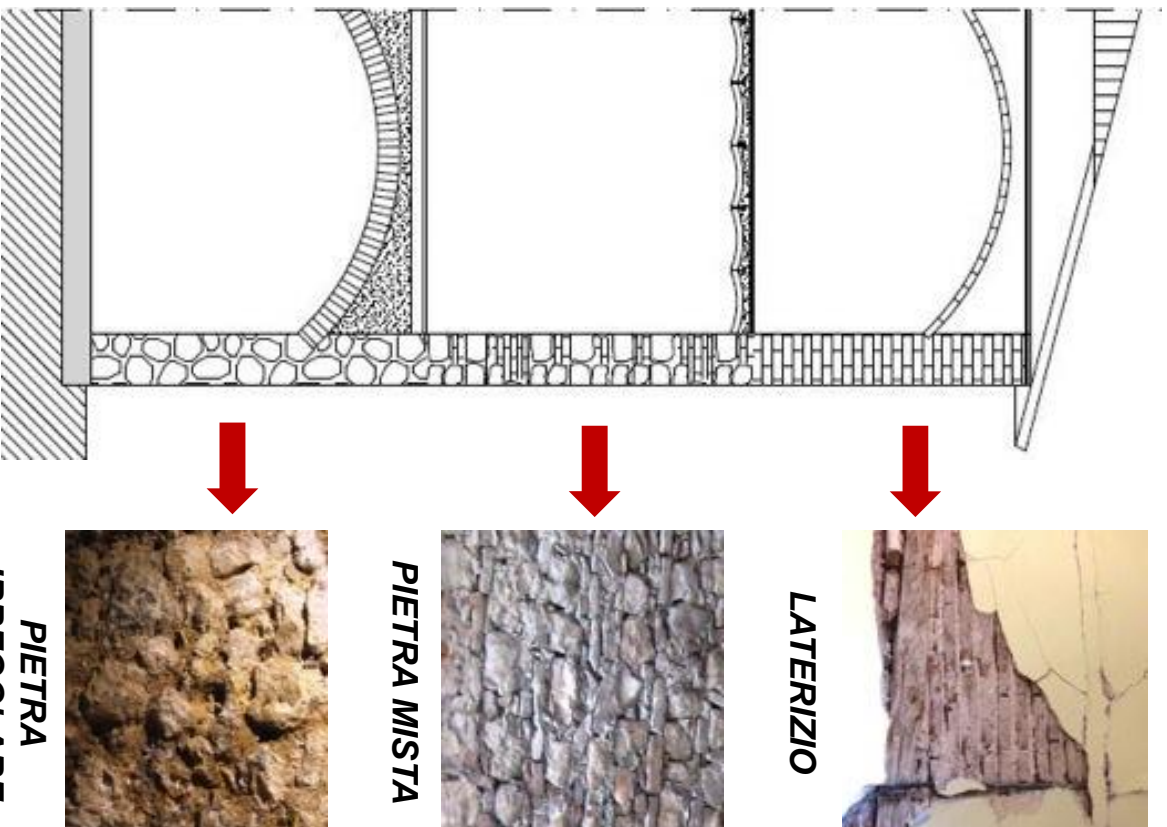


I rilievi di tipo visivo sono effettuati ricorrendo a rimozione dell'intonaco e saggi nella muratura che consentano di esaminarne le caratteristiche in superficie e nello spessore murario e l'ammorsamento tra muri ortogonali e dei solai nelle pareti. Si distinguono:

Verifiche in-situ limitate: rilievi limitati in estensione. In assenza di un rilievo diretto, o di dati sufficientemente attendibili, dovranno comunque essere assunte, nelle successive fasi di modellazione, analisi e verifiche, le ipotesi più cautelative.

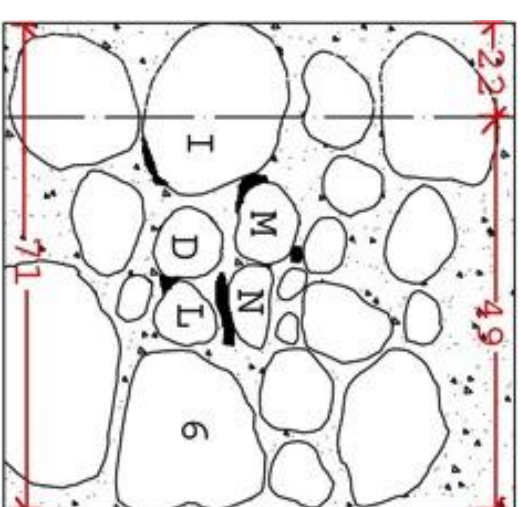
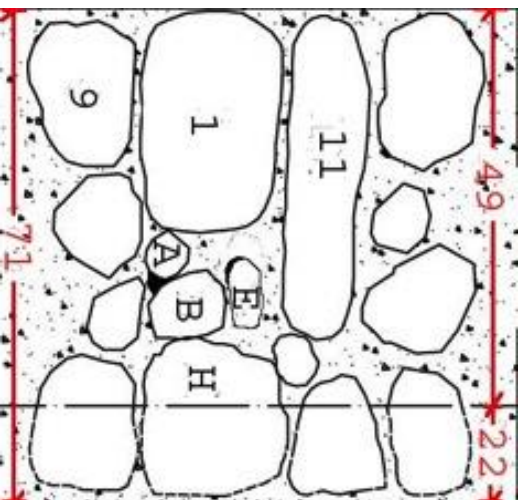
Verifiche in-situ estese ed esaustive: l'esame degli elementi dovrà estendersi in modo sistematico all'intero edificio.

TIPOLOGIA MURARIA

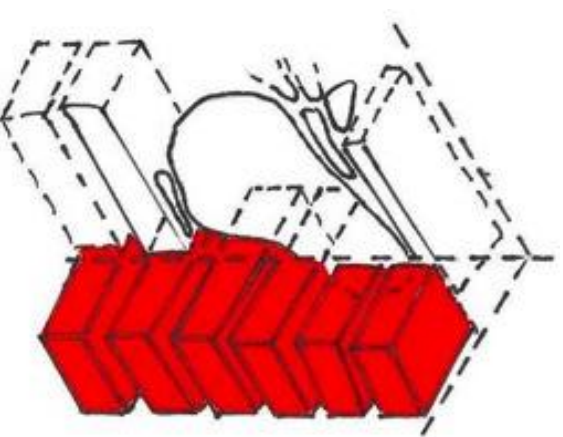
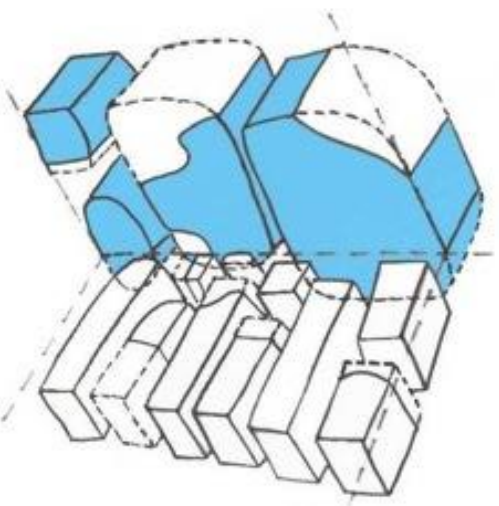


TIPOLOGIA MURARIA: MURATURA IN PIETrame	
FOTOGRAFIA PARAMENTO	
RESTITUZIONE GRAFICA PARAMENTO	
TIPOLOGIA MURARIA: MURATURA MISTA	
FOTOGRAFIA PARAMENTO	
RESTITUZIONE GRAFICA PARAMENTO	

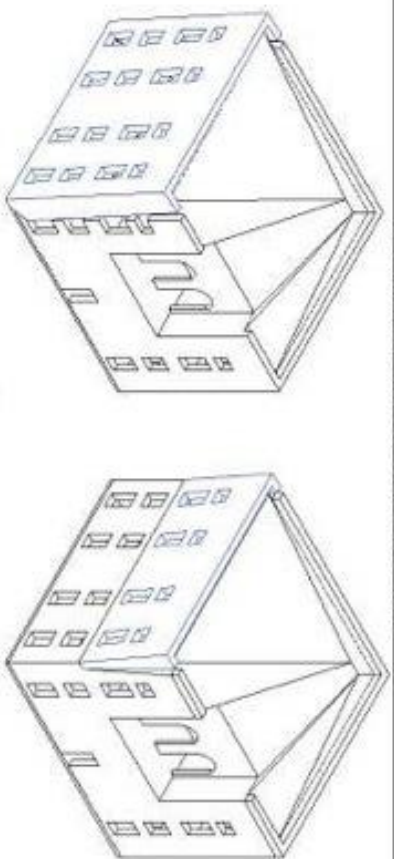
SCASSI E SCARIFICHE



a) superficie interna di destra, b) prospetto del foro , c) superficie interna di sinistra



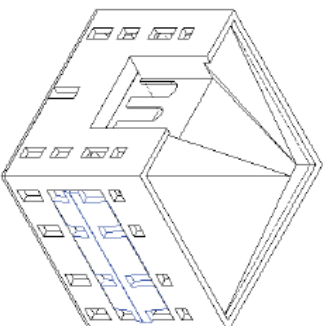
M1. RIBALTAMENTO DELLE PARETI



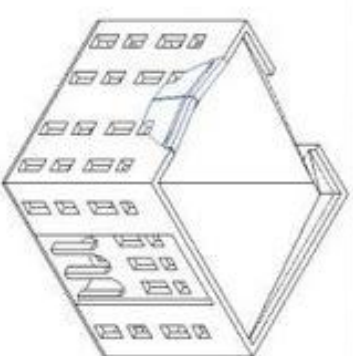
Palazzo in Via Roma, L'Aquila



M2. INSTABILITA' VERTICALE DELLE PARETI



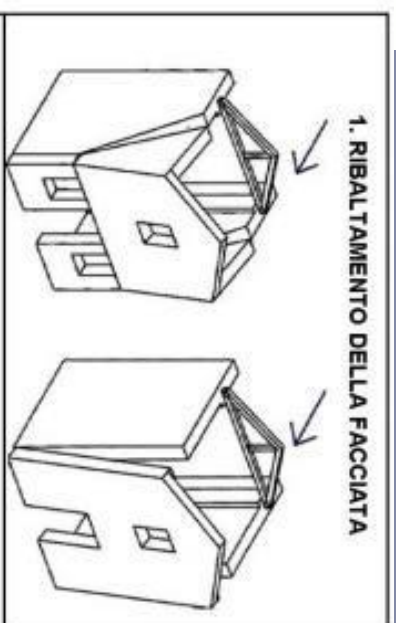
M3. ROTTURA A FLESSIONE DELLE PARETI



Palazzo in piazza San Pietro,
L'Aquila



**Santa Gemma,
Goriano Sicoli
(AQ)**



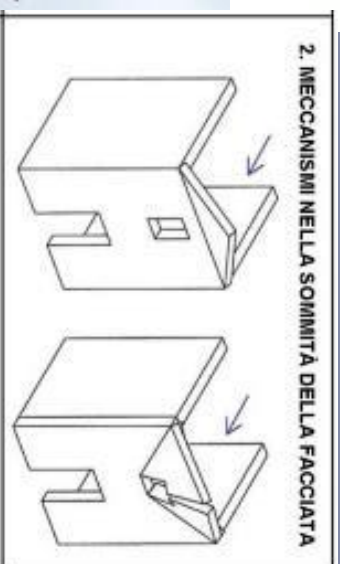
- Buon ammorramento tra pareti.
- Aggravamento di lesioni esistenti.
- Non molto frequente nel sisma 2012.



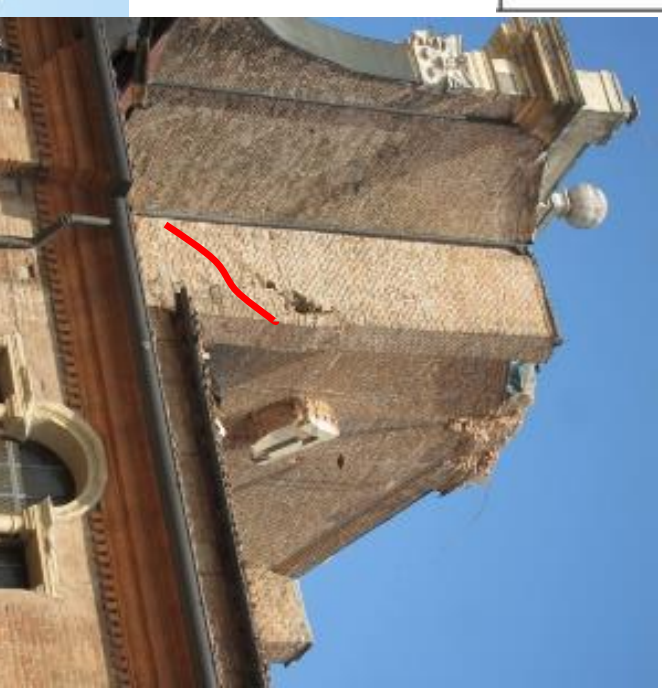
**San Filippo,
Cento**



**San Martino,
Buonacompra**



**Santa Maria
Assunta,
Carpi**



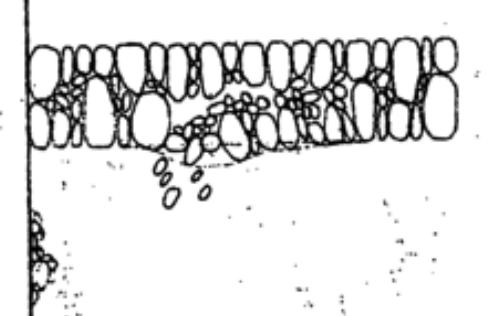
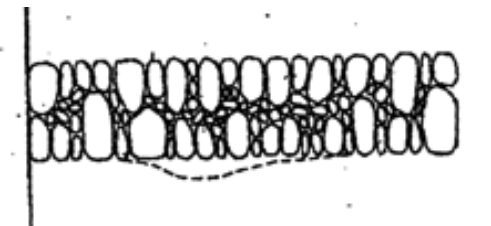
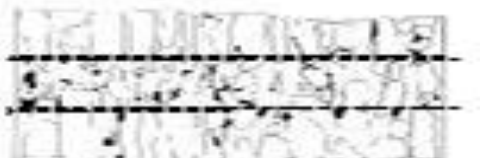
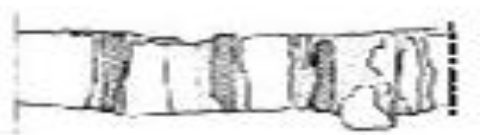
**San Biagio D'Amiterno,
L'Aquila**



**Oratorio SS
Sacramento,
Mirandola**

Particolare attenzione dovrà essere riservata alla valutazione della **qualità muraria**, con riferimento agli aspetti legati al rispetto o meno della “**regola dell’arte**” (presenza o meno di elementi di collegamento trasversali - es. diatoni -, la forma, tipologia e dimensione degli elementi, la tessitura, l’orizzontalità delle giaciture, il regolare sfalsamento dei giunti, la qualità e consistenza della malta).

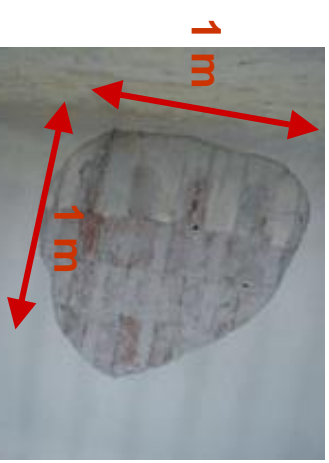
Di rilievo risulta anche la caratterizzazione di **malte** (tipo di legante, tipo di aggregato, rapporto legante/aggregato, livello di carbonatazione), e di **pietre e/o mattoni** (caratteristiche fisiche e meccaniche) mediante **prove sperimentali**. Malte e pietre si preleveranno in situ, avendo cura di prelevare le malte all’ interno (ad almeno 5-6 cm di profondità nello spessore murario).



Nel caso delle proprietà dei materiali si distinguono:

Indagini in-situ limitate

Sono basate su **esami visivi** della superficie muraria. Tali esami saranno condotti dopo la rimozione di una zona di intonaco di almeno **1m x 1m**, al fine di individuare: forma e dimensione dei blocchi, ammorsature tra le pareti murarie, compattezza della malta, qualità della connessione interna e trasversale degli elementi murari (attraverso **saggi localizzati**).

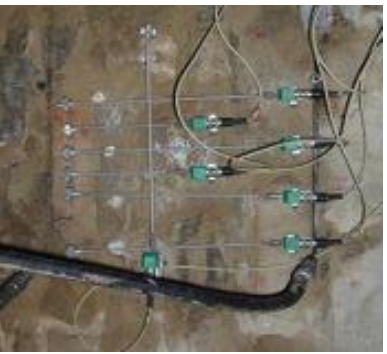


Indagini in-situ estese

Le indagini limitate devono essere effettuate in maniera estesa e sistematica, con **saggi superficiali ed interni** per ogni tipo di muratura presente.

Prove con **martinetto piatto doppio e prove di caratterizzazione della malta** (tipo di legante, tipo di aggregato, rapporto legante/aggregato...) e eventualmente **di pietre e/o mattoni** (caratteristiche fisiche e meccaniche) consentono di individuare la tipologia della muratura.

Metodi di prova non distruttivi (prove **soniche**, prove **sclerometriche**, **penetrometriche per la malta**, ...) possono essere impiegati a complemento delle prove richieste.



Indagini in-situ esaustive

servono per ottenere informazioni quantitative sulla resistenza del materiale.

La misura delle caratteristiche meccaniche della muratura si ottiene mediante **esecuzione di prove, in situ o in laboratorio** (su elementi non disturbati prelevati dalle strutture dell'edificio).

Le prove possono in generale comprendere **prove di compressione diagonale su pannelli o prove combinate di compressione verticale e taglio**.



L' appartenenza ad un **livello di conoscenza** più alto implica la possibilità di considerare dei valori dei parametri meccanici più elevati. Il **fattore di confidenza** si applica in modo diverso in funzione dei modelli per la valutazione della sicurezza sismica:

- modelli che considerano la deformabilità e la resistenza dei materiali e degli elementi strutturali: **F_c si applica alle proprietà dei materiali**, riducendo le resistenze;

Nel caso di **analisi elastica** con il fattore q , i valori di calcolo delle resistenze sono ottenuti dividendo i valori medi per i rispettivi fattori di confidenza e per il coefficiente parziale di sicurezza dei materiali

$$f_{cd} = f_m / (FC \times \gamma_m)$$

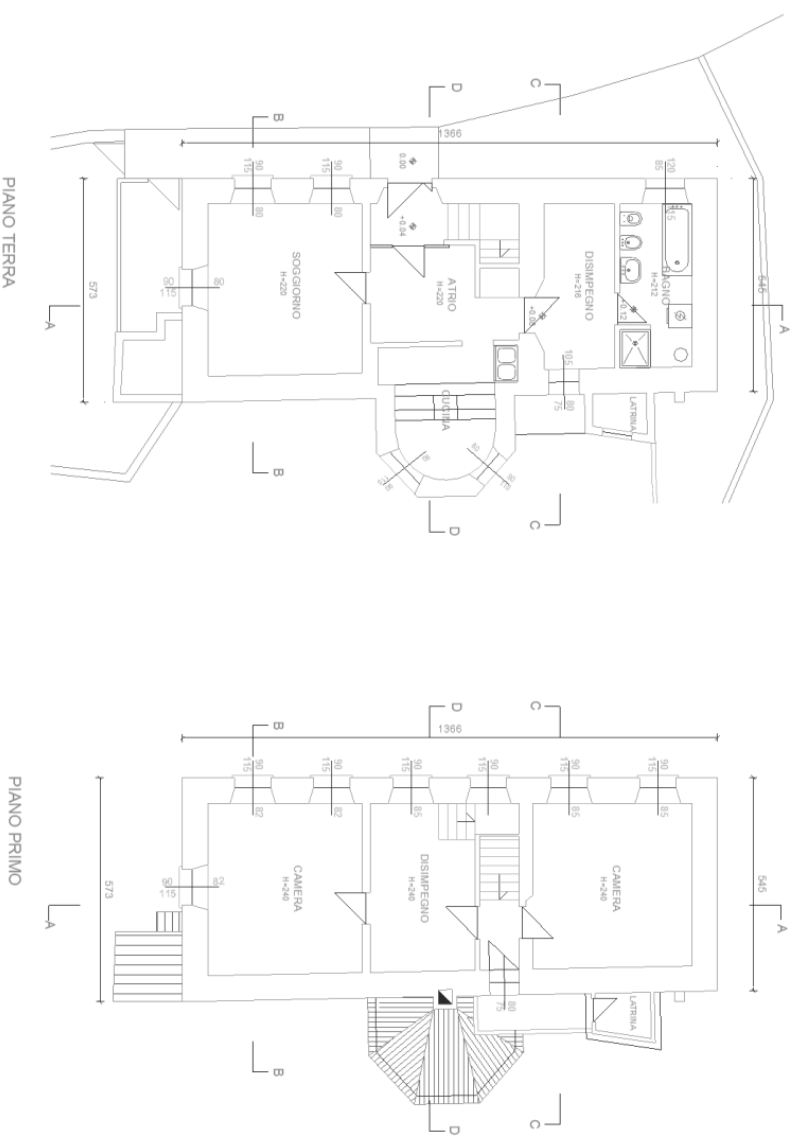
Nel caso di **analisi non lineare**, i valori di calcolo delle resistenze da utilizzare sono ottenuti dividendo i valori medi per i rispettivi fattori di confidenza (§ C8.7.1.5)

$$f_{cd} = f_m / (FC)$$

- modelli che considerano l' equilibrio limite: **F_c si applica direttamente alla capacità della struttura**, ovvero riducendo l' accelerazione corrispondente ai diversi stati limite.

$$a_0 = \frac{\alpha_0 \sum_{i=1}^{n+m} P_i}{M^*_{FC}} = \frac{\alpha_0 E}{e^*_{FC}}$$

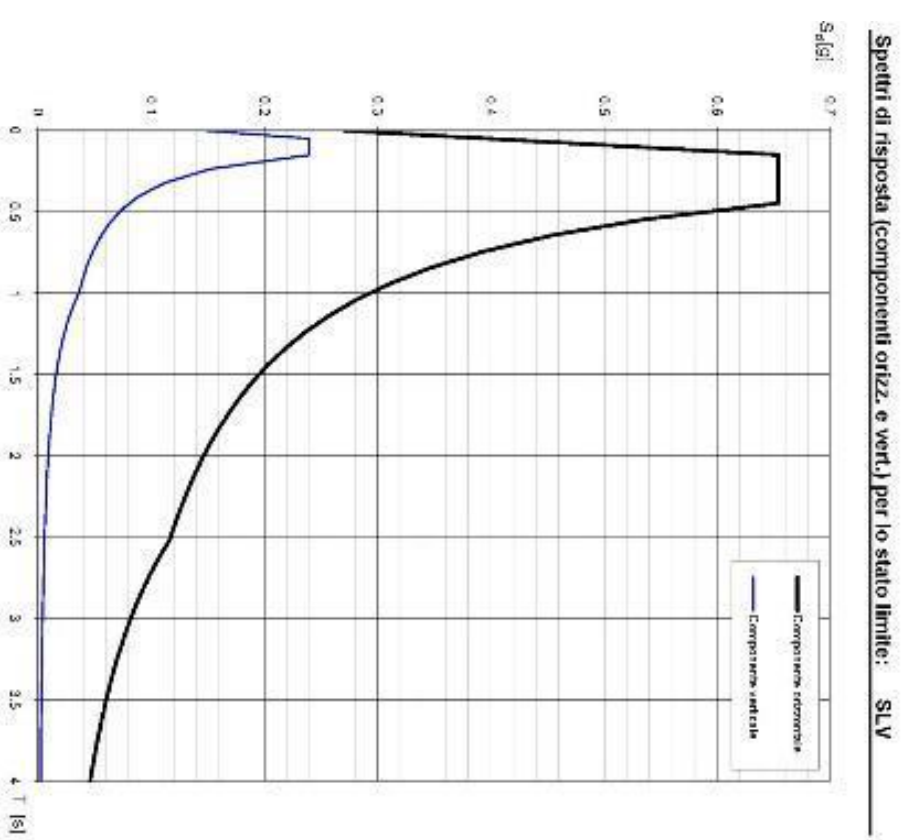
ESEMPIO DI CALCOLO – LIVELLI CONOSCENZA



L'edificio è costituito da due piani fuori terra e piano sottotetto. La pianta è inscritibile in un rettangolo di lati pari a circa 14 x 8,5 m. L'altezza della costruzione a livello della gronda è pari a 6,50 m.

L'edificio è in muratura in pietrame disordinata, gli impalcati di solaio sono a tipologia lignea.

ESEMPIO DI CALCOLO – LIVELLI CONOSCENZA



L'edificio è soggetto ad un'azione sismica con le seguenti caratteristiche (NTC – D.M. 14/01/2008): a_g (accelerazione di ancoraggio al suolo dello spettro elastico) = 2,26 m/s^2 ; $F_0 = 2,41$; $T_C^* = 0,35$. Il tutto relativo ad un periodo di ritorno di 475 anni, calibrato su una struttura “ordinaria” ($V_N \geq 50$ anni, classe d'uso II).

Risultati delle verifiche: edificio allo SDF, LC1

TIPOLOGIA MURARIA	f_m (N/cm ²)		T_0 (N/cm ²)		E N/mm ²		G N/mm ²		w (KN/m ³)
	min- max	min- max	min- max	min- max	min- max	min- max	min- max	min- max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100 180	2,0 3,2	690 1050	230 350	19				
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200 300	3,5 5,1	1020 1440	340 480	20				
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260 380	5,6 7,4	1500 1980	500 660	21				
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, etc.)	140 240	2,8 4,2	900 1260	300 420	16				



Proprietà materiale

Nome Muratura pietra
Tipo Muratura
Colore materiale

☒ Esistente
☐ Nuovo

☒ Definizione utente
☒ Rigidezza tessurata

Parametri di Analisi

E [N/mm2]	870
G [N/mm2]	290
w [KN/m3]	19,00
tm [N/cm2]	74,00
τ [N/cm2]	1,48

Descrizione
DEFINIZ UTENTE - RIGIDEZZA FESS

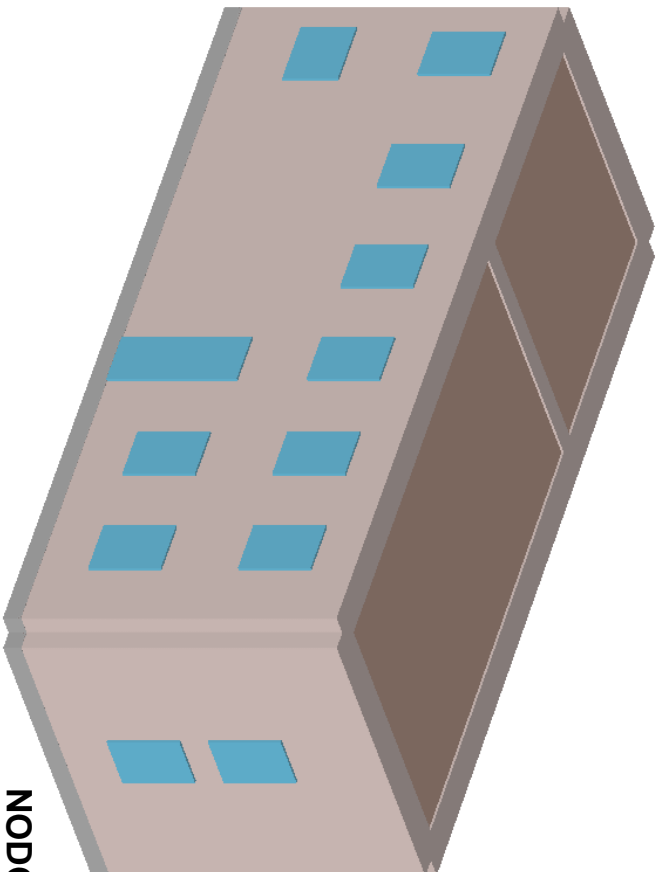
OK Annulla

?

C8.7.1.5 Modelli di capacità per la valutazione di edifici in muratura Pareti murarie

Nel caso di analisi elastica con il fattore q (analisi lineare statica ed analisi dinamica modale con coefficiente di struttura), i valori di calcolo delle resistenze sono ottenuti dividendo i valori medi per i rispettivi fattori di confidenza e per il coefficiente parziale di sicurezza dei materiali. Nel caso di analisi non lineare, i valori di calcolo delle resistenze da utilizzare sono ottenuti dividendo i valori medi per i rispettivi fattori di confidenza.

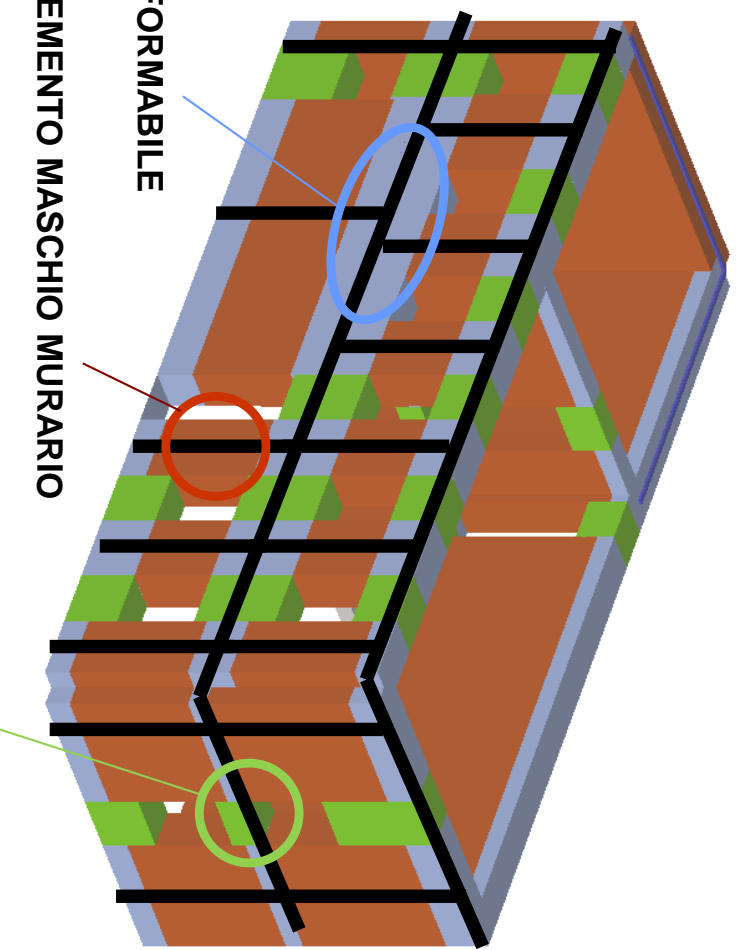
$$f_m = \frac{100}{F_c} = \frac{100}{1.35} = 74.0 \frac{N}{cm^2} \quad E = \frac{690 + 1050}{2} = 870.0 \frac{N}{mm^2}$$



NODO INDEFORMABILE

ELEMENTO MASCHIO MURARIO

ELEMENTO FASCIA DI PIANO



MODELLO A TELAIO

Muratura

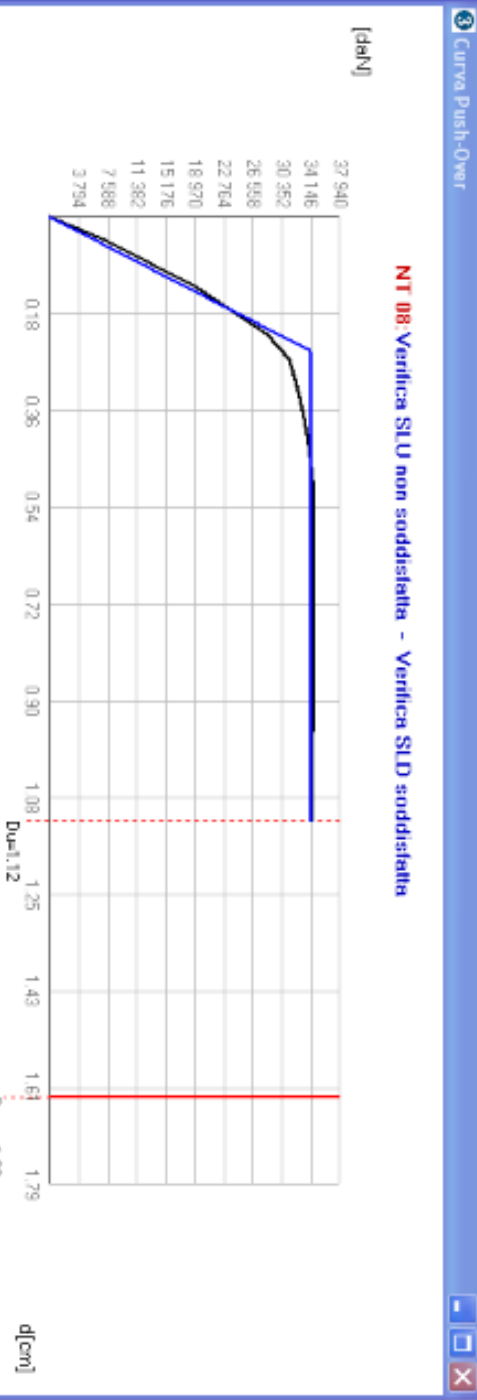
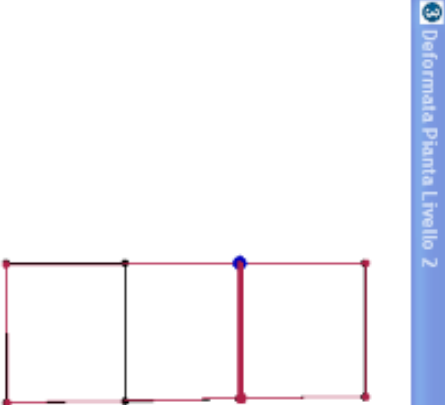
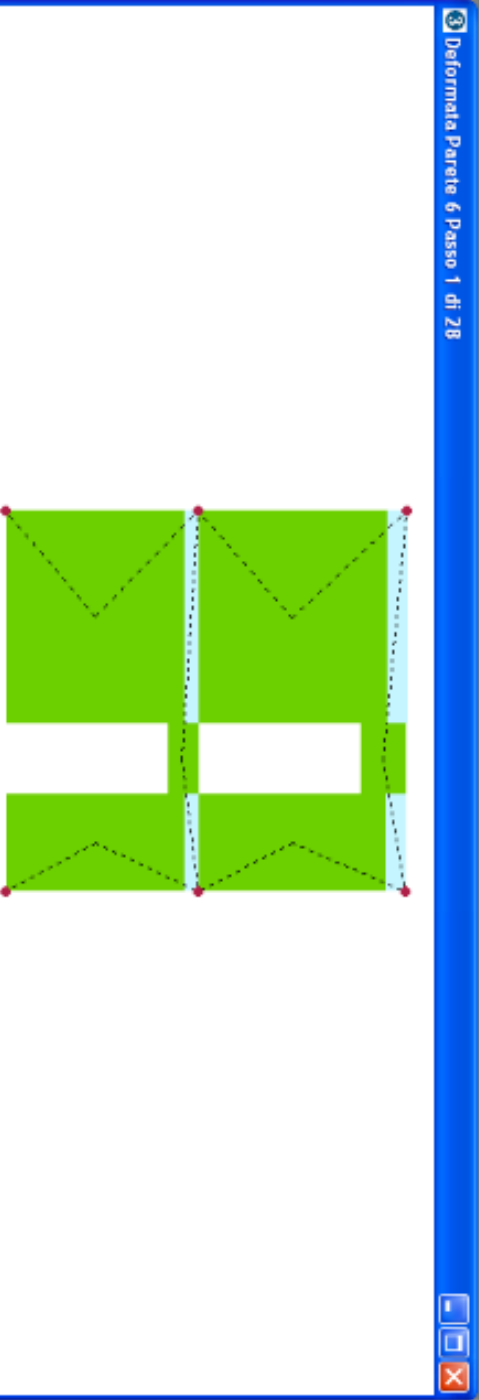
Integro
Plastico per taglio
Rottura per taglio
Plastico presso flessione
Rottura presso flessione
Rottura per compressione
Rottura per trazione
Rottura in fase elastica

3 Risultati Parete 6

Modo	Ux [cm]	Uy [cm]	Uz [cm]	Rot X [rad]	Rot Y [rad]
17	0.000	0.000	0.000	0.00000	0.00000
18	0.000	0.006	-0.042	-0.00003	0.00007
19	0.001	0.028	-0.084	-0.00010	-0.00001
20	0.000	0.000	0.000	0.00000	0.00000
21	0.000	0.010	-0.044	-0.00003	-0.00007
22	0.001	0.034	-0.075	-0.00003	0.00007

N.	Inserisci in relazione	Dir. sisma	Carico sismico proporzionale	Ecc. [cm]	Dmax SLV [cm]	Du SLV [cm]	q* SLV	Dmax SLD [cm]	Dd SLD [cm]	Dmax SLO [cm]	Do SLO [cm]	Alfa u	Alfa e
9		+X	Masse	65.05	1.629	1.119	3.887	0.397	1.119	0.263	1.119	0.726	0.330

Analisi in direzione trasversale all'edificio, LC1 Con eccentricità – SOLAI RIGIDI



Muratura

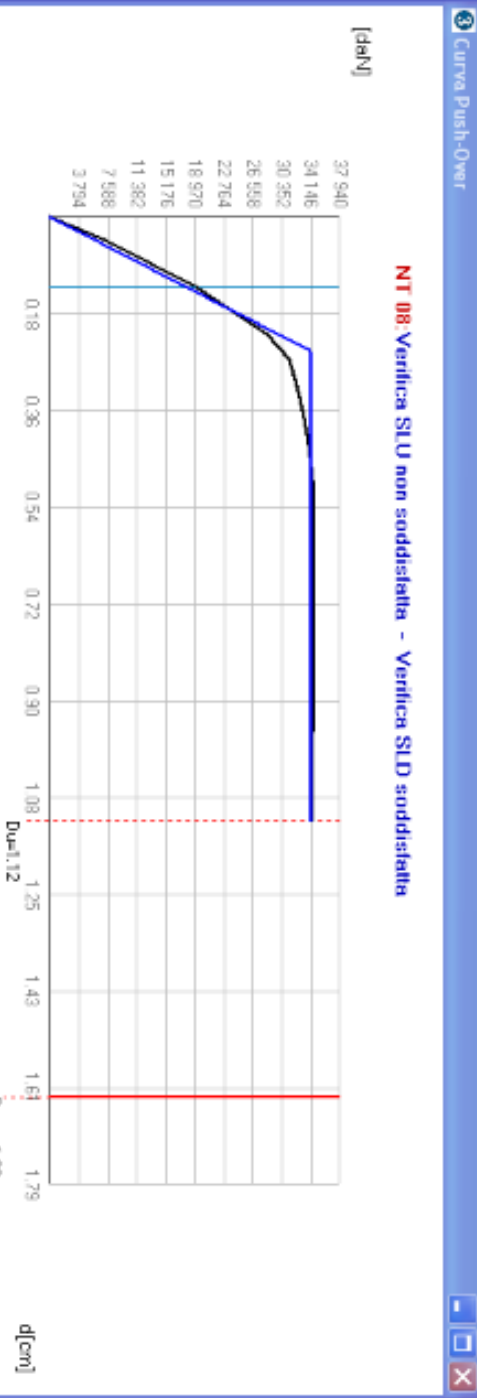
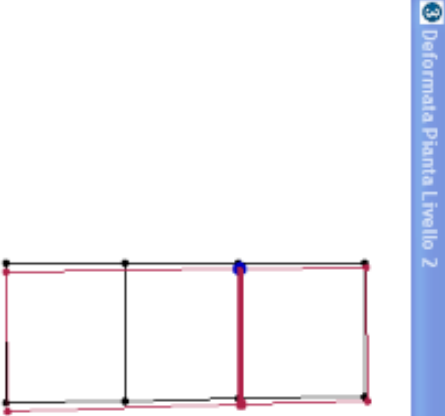
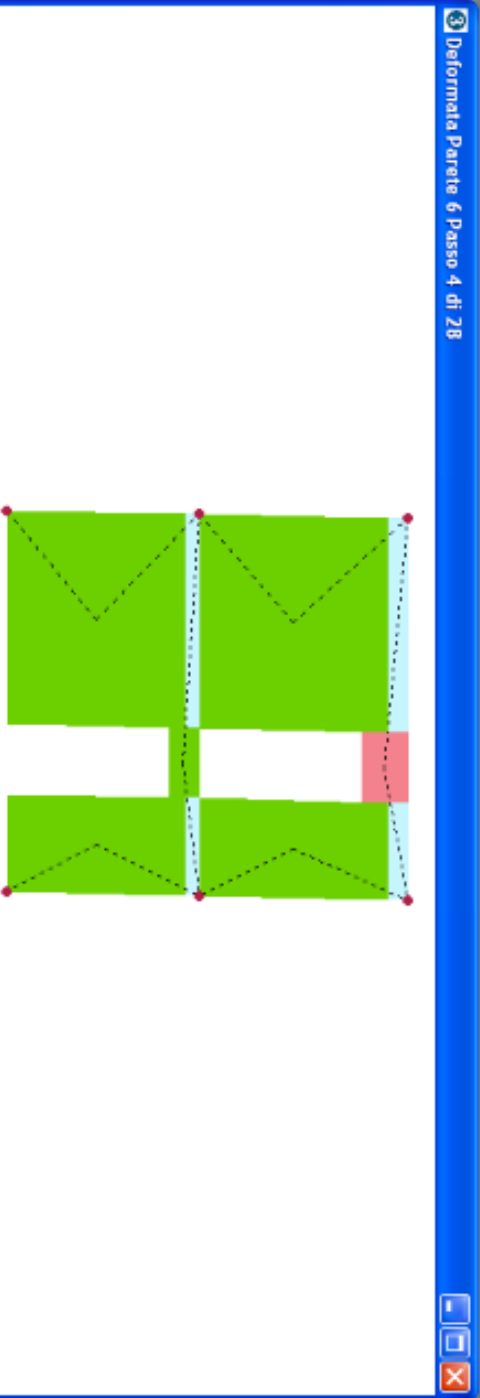
Integro
Plastico per taglio
Rottura per taglio
Plastico presso flessione
Rottura presso flessione
Rottura per compressione
Rottura per trazione
Rottura in fase elastica

3 Risultati Parete 6

Modo	Ux [cm]	Uy [cm]	Uz [cm]	Rot X [rad]	Rot Y [rad]
17	0.000	0.000	0.000	0.000000	0.000000
18	0.053	0.003	-0.008	-0.00002	0.00016
19	0.121	0.014	-0.057	-0.00008	0.00019
20	0.000	0.000	0.000	0.00000	0.00000
21	0.053	0.016	-0.008	-0.00000	0.00013
22	0.121	0.054	-0.087	-0.00010	0.00025

N.	Inserisci in relazione	Dir. sisma	Carico sismico proporzionale	Ecc. [cm]	Dmax SLV [cm]	Du SLV [cm]	q* SLV	Dmax SLD [cm]	Dd SLD [cm]	Dmax SLO [cm]	Do SLO [cm]	Alfa u	Alfa e
9		+X	Masse	65.05	1.629	1.119	3.887	0.397	1.119	0.263	1.119	0.726	0.330

Analisi in direzione trasversale all'edificio, LC1 Con eccentricità – SOLAI RIGIDI



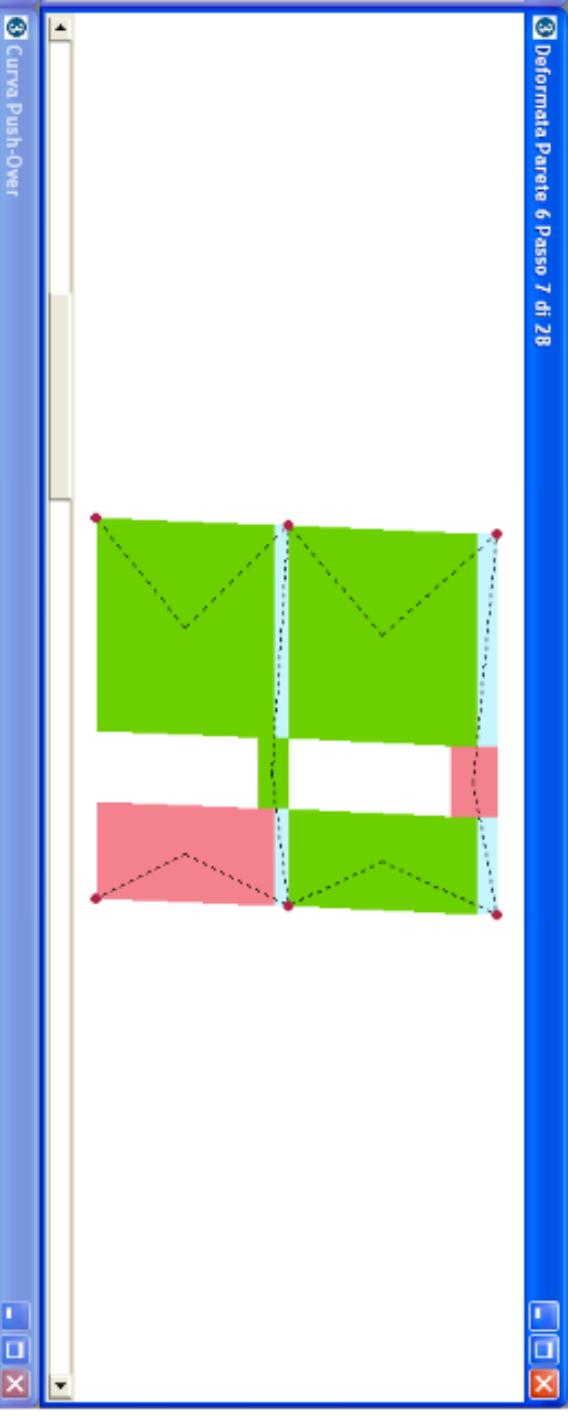
Muratura
Integro
Plastico per taglio
Rottura per taglio
Plastico presso flessione
Rottura presso flessione
Rottura per compressione
Rottura per trazione
Rottura in fase elastica

Modo	Ux	Uy	Uz	Rot X	Rot Y
[cm]	[cm]	[cm]	[rad]	[rad]	[rad]
17	0.000	0.000	0.000	0.00000	0.00000
18	0.110	-0.009	-0.006	0.00007	0.00032
19	0.241	-0.028	-0.053	0.00011	0.00039
20	0.000	0.000	0.000	0.00000	0.00000
21	0.110	0.029	-0.007	-0.00011	0.00031
22	0.241	0.073	-0.067	-0.00013	0.00046

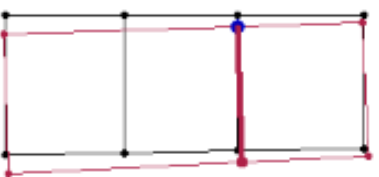
3 Risultati Parete 6					
Modo	Ux	Uy	Uz	Rot X	Rot Y
[cm]	[cm]	[cm]	[rad]	[rad]	[rad]
17	0.000	0.000	0.000	0.00000	0.00000
18	0.110	-0.009	-0.006	0.00007	0.00032
19	0.241	-0.028	-0.053	0.00011	0.00039
20	0.000	0.000	0.000	0.00000	0.00000
21	0.110	0.029	-0.007	-0.00011	0.00031
22	0.241	0.073	-0.067	-0.00013	0.00046

N.	Inserisci in relazione	Dir. sisma	Carico sismico proporzionale	Ecc. [cm]	Dmax SLV [cm]	Du SLV [cm]	q* SLV	Dmax SLD [cm]	Dd SLD [cm]	Dmax SLO [cm]	Do SLO [cm]	Alfa u	Alfa e
9		+X	Massa	65.05	1.629	1.119	3.887	0.397	1.119	0.263	1.119	0.726	0.330

Analisi in direzione trasversale all'edificio, LC1 Con eccentricità – SOLAI RIGIDI



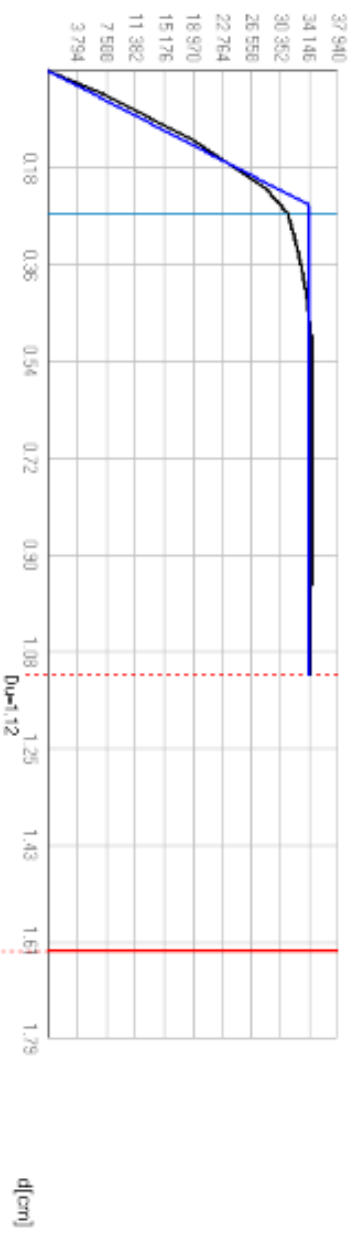
3 Deformata Pianta Livello 2



3 Curva Push-Over

[daN]

NT 08-Verifica SLU non soddisfatta - Verifica SLD soddisfatta

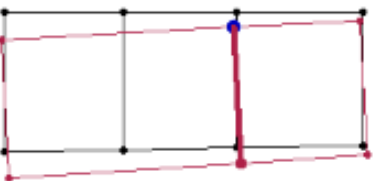


Muratura

	Integro
	Plastico per taglio
	Rottura per taglio
	Plastico presso flessione
	Rottura presso flessione
	Rottura per compressione
	Rottura per trazione
	Rottura in fase elastica

Modo	Ux	Uy	Uz	Rot X	Rot Y
[cm]	[cm]	[cm]	[grad]	[grad]	[grad]
17	0.000	0.000	0.000	0.00000	0.00000
18	0.142	-0.014	-0.004	0.00002	0.00042
19	0.321	-0.064	-0.050	0.00030	0.00053
20	0.000	0.000	0.000	0.00000	0.00000
21	0.142	0.034	-0.0013	0.00033	0.00033
22	0.321	0.088	-0.005	-0.00016	0.00060

3 Deformata Pianta Livello 2

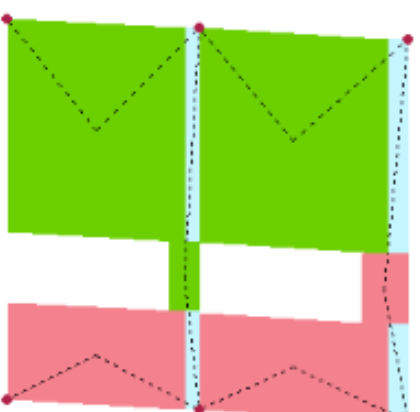


• Ux → Modo di cedimento 19 - Media spostamenti livello 2

N.	Inserisci in relazione	Dir. sistema	Carico sismico proporzionale	Ecc. [cm]	Dmax SLV [cm]	Du SLV [cm]	q* SLV	Dmax SLD [cm]	Dd SLD [cm]	Dmax SLO [cm]	Do SLO [cm]	Alfa u	Alfa e
9		+X	Masse	65.05	1.629	1.119	3.887	0.397	1.119	0.263	1.119	0.726	330

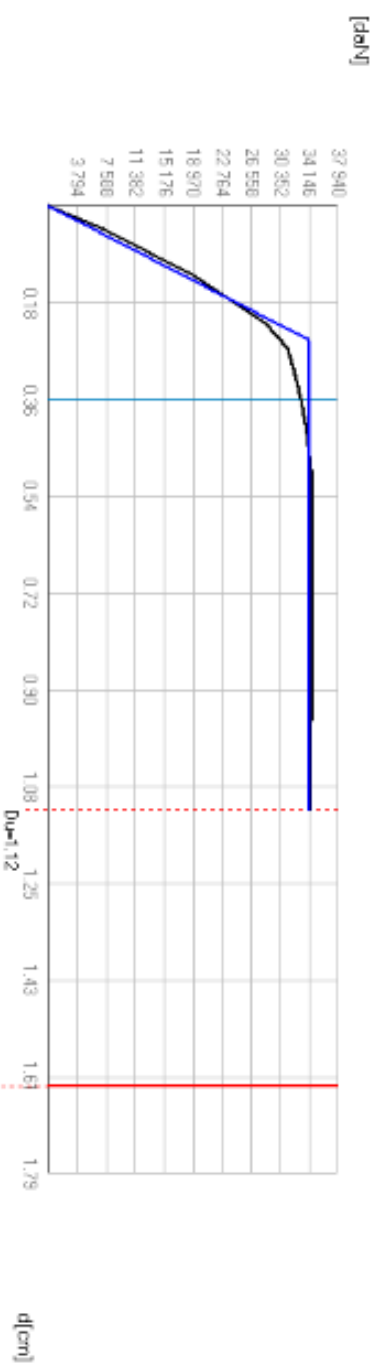
Analisi in direzione trasversale all'edificio, LC1
Con eccentricità – SOLAI RIGIDI

3 Deformata Parete 6 Passo 9 di 28



3 Curva Push-Over

NT 08: Verifica SLU non soddisfatta - Verifica SLD soddisfatta

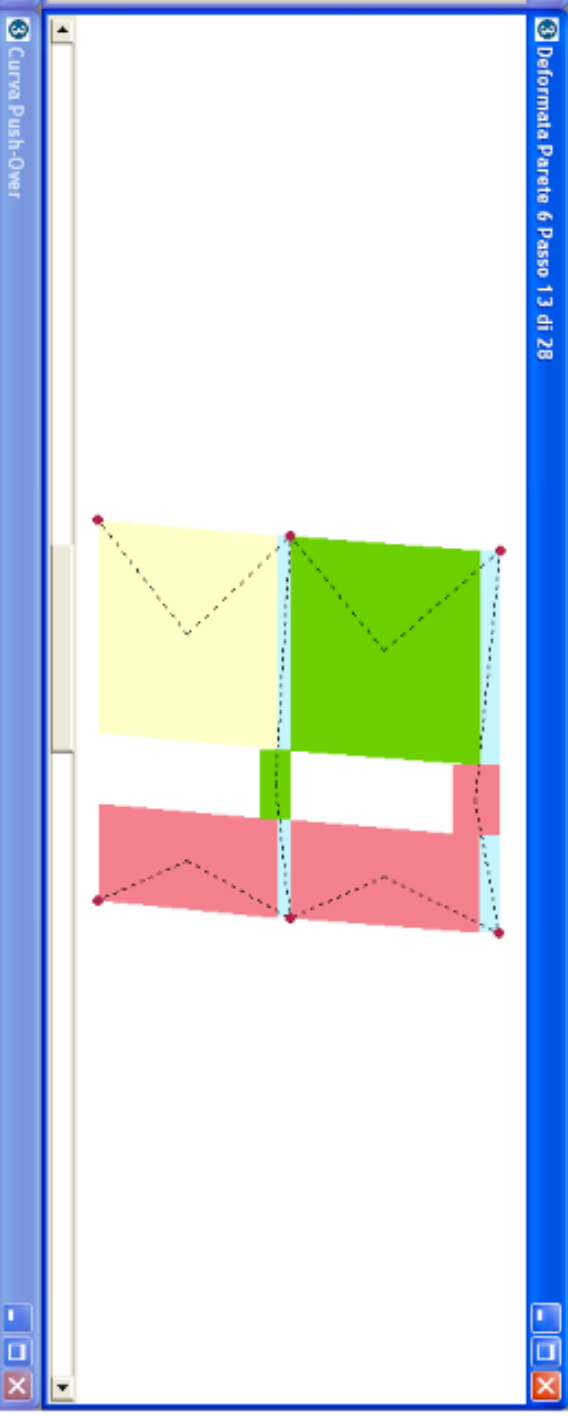
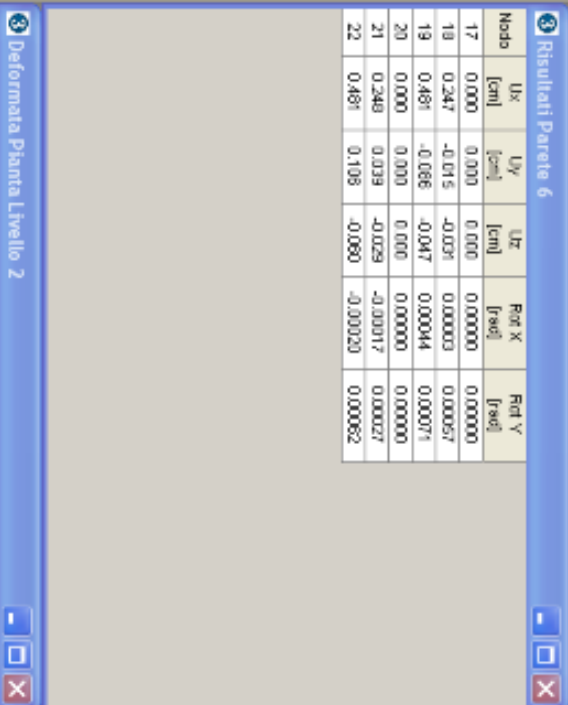


Muratura	
	Integro
	Plastico per taglio
	Rottura per taglio
	Plastico presso flessione
	Rottura presso flessione
	Rottura per compressione
	Rottura per trazione
	Rottura in fase elastica

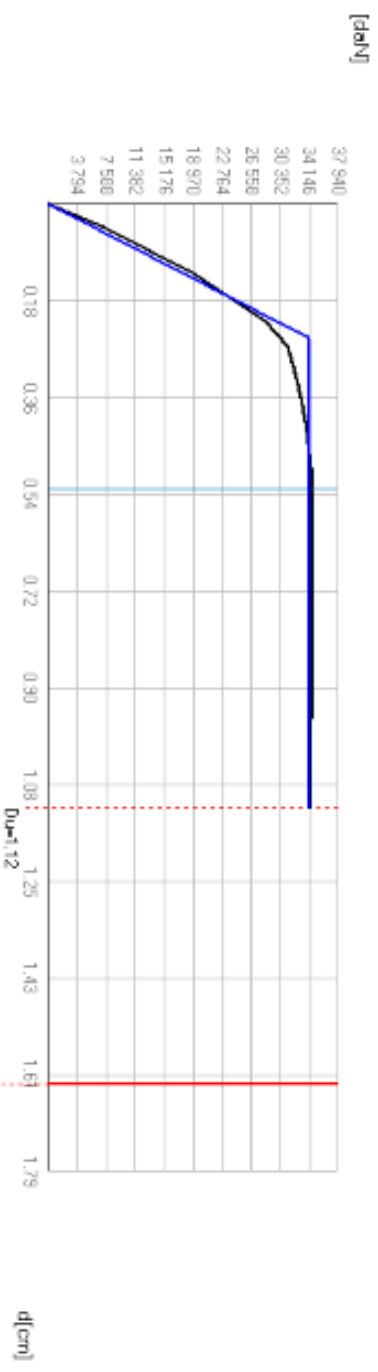
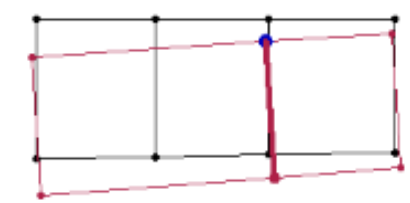
N.	Inserisci in relazione	Dir. sisma	Carico sismico proporzionale	Ecc. [cm]	Dmax SLV [cm]	Du SLV [cm]	q* SLV	Dmax SLD [cm]	Dd SLD [cm]	Dmax SLO [cm]	Do SLO [cm]	Alfa u	Alfa e
9		+X	Massa	65.05	1.629	1.119	3.887	0.397	1.119	0.263	1.119	0.726	0.330

Analisi in direzione trasversale all'edificio, LC1 Con eccentricità – SOLAI RIGIDI

Modo	Ux [cm]	Uy [cm]	Uz [cm]	Rot X [rad]	Rot Y [rad]
17	0.000	0.000	0.000	0.00000	0.00000
18	0.247	-0.015	-0.031	0.00003	0.00057
19	0.481	-0.086	-0.047	0.00044	0.00071
20	0.000	0.000	0.000	0.00000	0.00000
21	0.248	0.039	-0.0017	-0.00017	0.00027
22	0.481	0.108	-0.080	-0.00020	0.00062



NT 08-Verifica SLU non soddisfatta - Verifica SLD soddisfatta



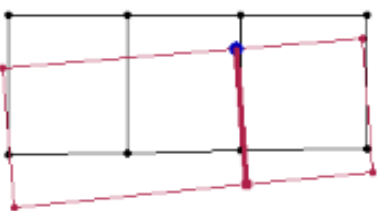
Muratura

Integro
Plastico per taglio
Rottura per taglio
Plastico presso flessione
Rottura presso flessione
Rottura per compressione
Rottura per trazione
Rottura in fase elastica

Risultati Parete 6

Modo	Ux [cm]	Uy [cm]	Uz [cm]	Rot X [rad]	Rot Y [rad]
17	0.000	0.000	0.000	0.00000	0.00000
18	0.423	-0.016	-0.029	0.00004	0.00009
19	0.720	-0.120	-0.044	0.00062	0.00086
20	0.000	0.000	0.000	0.00000	0.00000
21	0.423	0.045	-0.00020	0.00020	0.00000
22	0.721	0.127	-0.063	-0.00024	0.00062

Deformata Pianta Livello 2

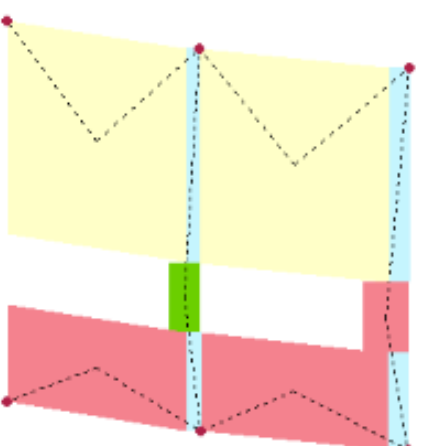


↳ Modo di cedimento 19 - Media spostamenti livello 2

N.	Inserisci in relazione	Dir. sisma	Carico sismico proporzionale	Ecc. [cm]	Dmax SLV [cm]	Du SLV [cm]	q* SLV	Dmax SLD [cm]	Dd SLD [cm]	Dmax SLO [cm]	Do SLO [cm]	Alfa u	Alfa e
9		+X	Masse	65.05	1.629	1.119	3.887	0.397	1.119	0.263	1.119	0.726	0.330

Analisi in direzione trasversale all'edificio, LC1 Con eccentricità – SOLAI RIGIDI

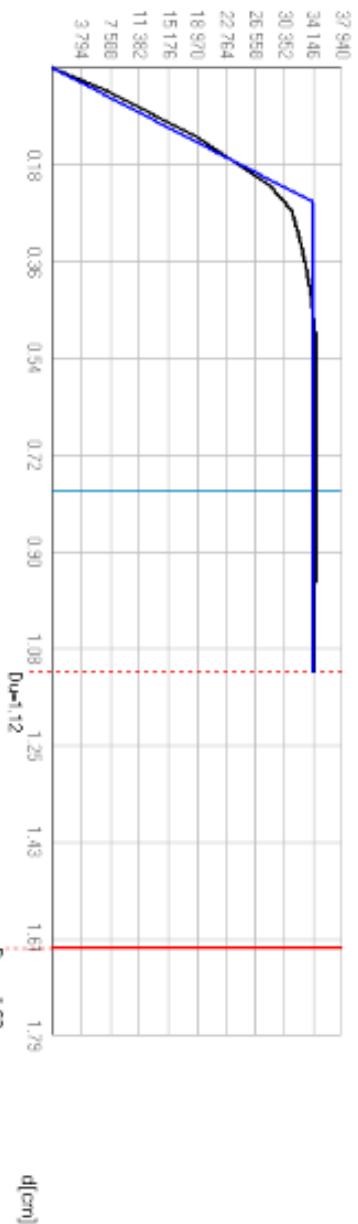
Deformata Parete 6 Passo 19 di 28



Curva Push-Over

[daN]

NT 08-Verifica SLU non soddisfatta - Verifica SLD soddisfatta



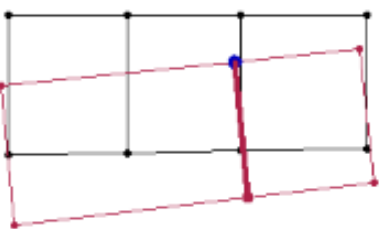
Muratura

Integro
Plastico per taglio
Rottura per taglio
Plastico presso flessione
Rottura presso flessione
Rottura per compressione
Rottura per trazione
Rottura in fase elastica

Risultati Parete 6

Modo	Ux [cm]	Uy [cm]	Uz [cm]	Rot X [rad]	Rot Y [rad]
17	0.000	0.000	0.000	0.00000	0.00000
18	0.637	-0.018	-0.028	0.00005	0.00073
19	1.000	-0.156	-0.044	0.00081	0.00093
20	0.000	0.000	0.000	0.00000	0.00000
21	0.637	0.052	-0.0023	-0.00074	0.00074
22	1.001	0.146	-0.047	-0.00029	0.00043

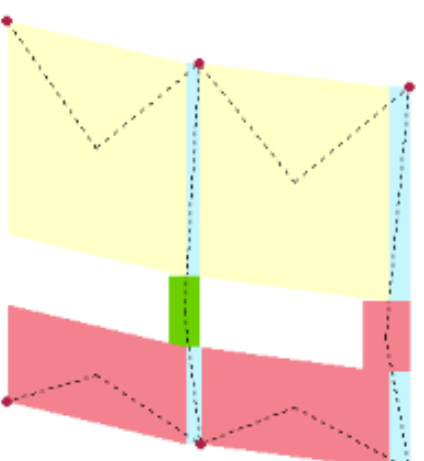
Deformata Pianta Livello 2



N.	Inserisci in relazione	Dir. sisma	Carico sismico proporzionale	Ecc. [cm]	Dmax SLV [cm]	Du SLV [cm]	q* SLV	Dmax SLD [cm]	Dd SLD [cm]	Dmax SLO [cm]	Do SLO [cm]	Alfa u	Alfa e
9		+X	Masse	65.05	1.629	1.119	3.887	0.397	1.119	0.263	1.119	0.726	0.330

Analisi in direzione trasversale all'edificio, LC1 Con eccentricità – SOLAI RIGIDI

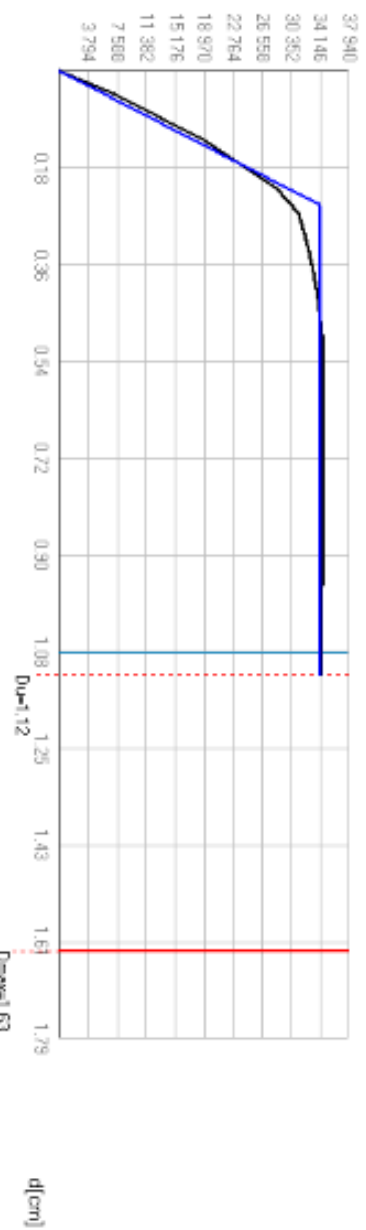
Deformata Parete 6 Passo 26 di 28



Curva Push-Over

[daN]

NT 08-Verifica SLU non soddisfatta - Verifica SLD soddisfatta



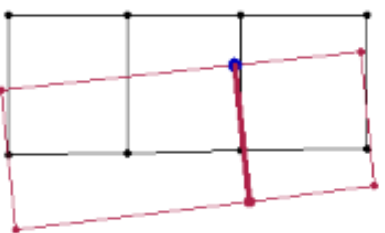
Muratura

Integro
Plastico per taglio
Rottura per taglio
Plastico presso flessione
Rottura presso flessione
Rottura per compressione
Rottura per trazione
Rottura in fase elastica

Risultati Parete 6

Modo	Ux [cm]	Uy [cm]	Uz [cm]	Rot X [rad]	Rot Y [rad]
17	0.000	0.000	0.000	0.00000	0.00000
18	0.769	-0.035	-0.031	0.00007	0.00004
19	1.090	-0.145	-0.047	0.00062	0.00030
20	0.000	0.000	0.000	0.00000	0.00000
21	0.769	0.072	-0.007	-0.00023	0.00003
22	1.081	0.195	-0.043	-0.00028	0.00008

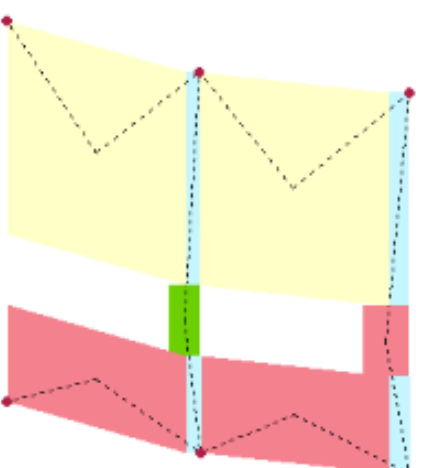
Deformata Pianta Livello 2



N.	Inserisci in relazione	Dir. sisma	Carico sismico proporzionale	Ecc. [cm]	Dmax SLV [cm]	Du SLV [cm]	q* SLV	Dmax SLD [cm]	Dd SLD [cm]	Dmax SLO [cm]	Do SLO [cm]	Alfa u	Alfa e
9		+X	Masse	65.05	1.629	1.119	3.887	0.397	1.119	0.263	1.119	0.726	0.330

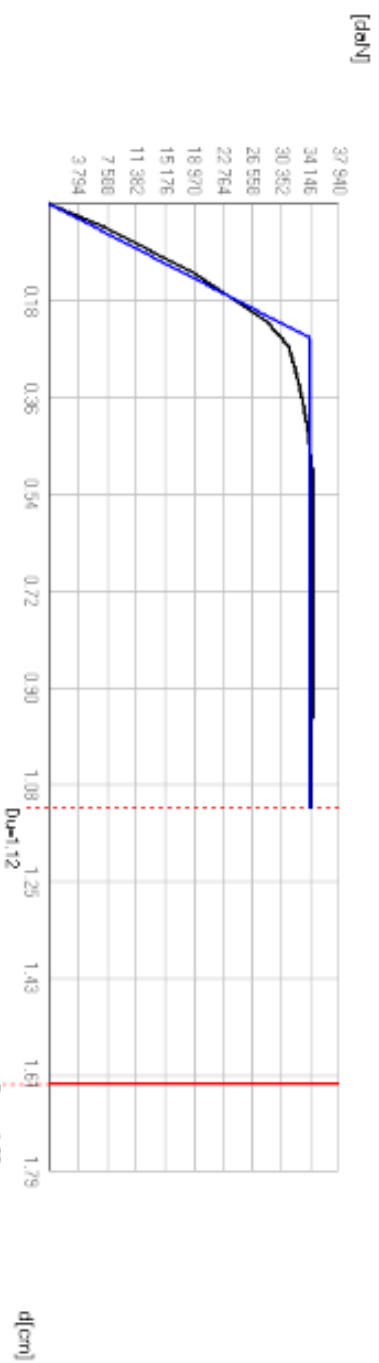
Analisi in direzione trasversale all'edificio, LC1 Con eccentricità – SOLAI RIGIDI

Deformata Parete 6 Passo 28 di 28



Curva Push-Over

NT 08-Verifica SLU non soddisfatta - Verifica SLD soddisfatta



Verifica analisi

Normativa

OPCM 3274

NT 05

NT 08

DM 96

	N.	Inserisci in relazione	Dir. sisma	Carico sismico proporzionale	Ecc. [cm]	Dmax SLV [cm]	Du SLV [cm]	q* SLV	Dmax SLD [cm]	Dd SLD [cm]	Dmax SLO [cm]	Do SLO [cm]	Alfa u	Alfa e
	9	<div></div>	+X	Masse	65.05	1.629	1.119	3.887	0.397	1.119	0.263	1.119	0.726	2.330
	10	<div></div>	+X	Masse	-65.05	1.778	1.145	3.903	0.449	1.145	0.305	1.145	0.684	2.188
	11	<div></div>	+X	1° modo	65.05	1.886	1.890	4.004	0.489	1.649	0.338	1.167	0.749	2.888
	12	<div></div>	+X	1° modo	-65.05	2.303	1.535	4.197	0.648	1.294	0.467	0.999	0.691	1.890
	13	<div></div>	-X	Masse	65.05	1.518	0.952	3.556	0.352	0.952	0.234	0.952	0.681	2.160
	14	<div></div>	-X	Masse	-65.05	1.618	0.974	3.570	0.387	0.974	0.261	0.974	0.655	2.074
	15	<div></div>	-X	1° modo	65.05	1.749	1.756	3.517	0.433	1.314	0.298	0.983	0.853	2.509
	16	<div></div>	-X	1° modo	-65.05	1.860	1.374	3.561	0.474	1.292	0.330	0.956	0.769	2.331
	17	<div></div>	+Y	Masse	8.6474	0.904	1.462	2.131	0.156	1.462	0.118	1.062	1.408	4.585
	18	<div></div>	+Y	Masse	8.6474	0.975	1.647	2.179	0.173	1.647	0.131	1.267	1.377	4.802
	19	<div></div>	+Y	1° modo	8.6474	1.066	1.351	2.407	0.188	1.351	0.142	1.351	1.197	3.846
	20	<div></div>	+Y	1° modo	8.6474	1.115	1.363	2.502	0.198	1.363	0.150	1.363	1.167	3.753
	21	<div></div>	-Y	Masse	8.6474	0.781	0.855	2.078	0.134	0.855	0.101	0.855	1.063	3.201
	22	<div></div>	-Y	Masse	8.6474	0.833	0.865	2.114	0.143	0.865	0.108	0.865	1.026	3.142
	23	<div></div>	-Y	1° modo	8.6474	0.907	1.744	2.186	0.154	1.478	0.117	1.162	1.373	4.624
	24	<div></div>	-Y	1° modo	8.6474	0.989	1.256	2.196	0.176	1.256	0.133	1.256	1.191	3.802

Visualizza dettagli analisi

Inserisci tutte le analisi in relazione

Attiva normativa

Cancello analisi

Esci

Verificato

Non verificato

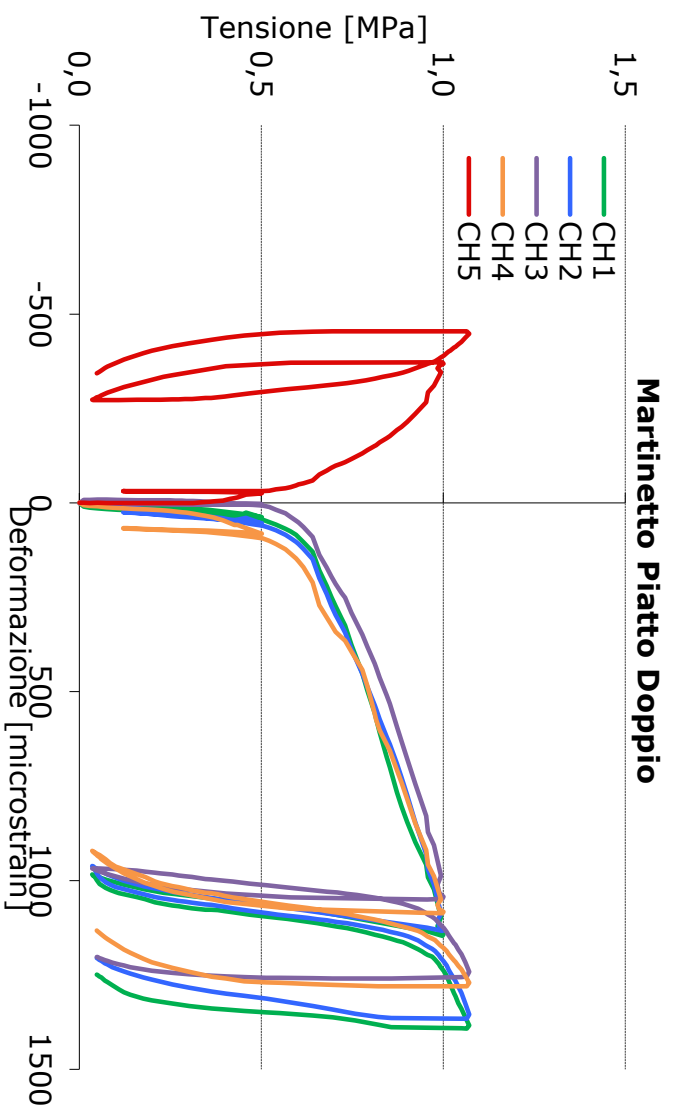
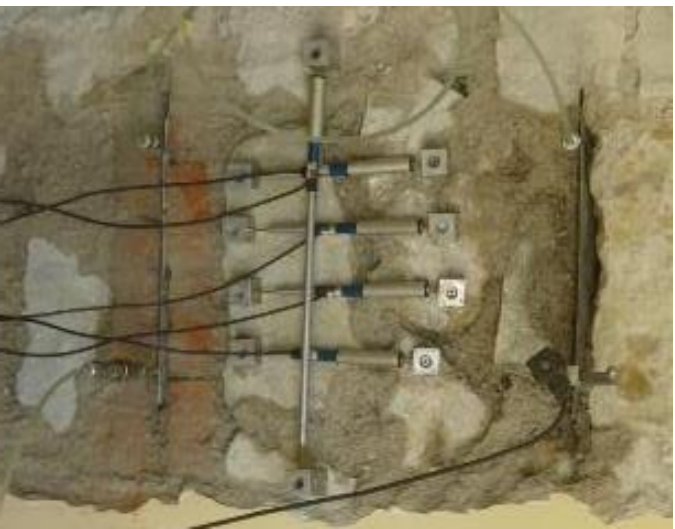
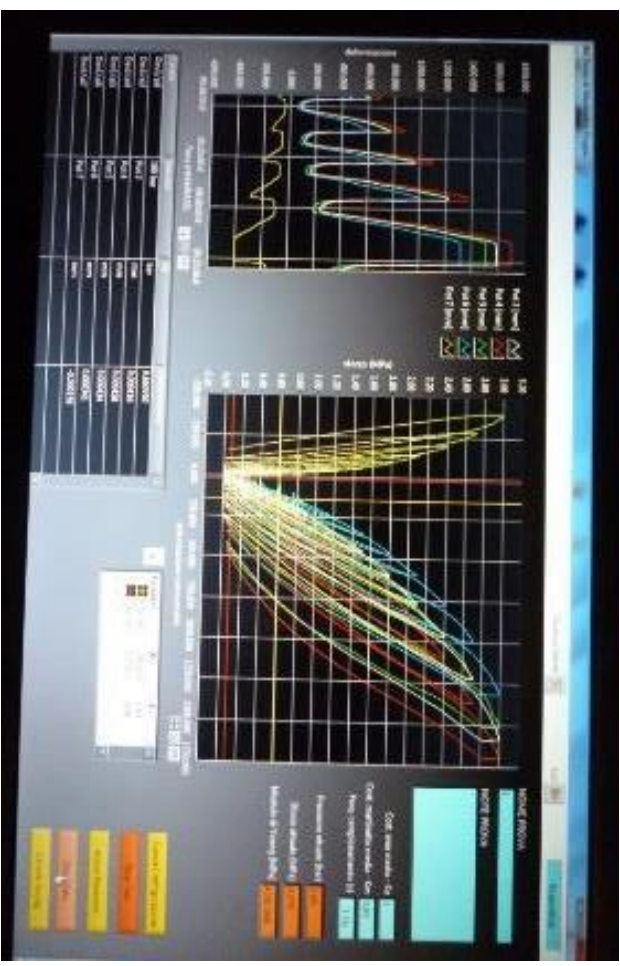
Non converge a p.p.

Esporta Piano-Soil

→

Visualizza dettagli analisi

?



Risultati delle verifiche: edificio allo SDF, LC2

TIPOLOGIA MURARIA	f_m (N/cm ²)		T_0 (N/cm ²)		E (N/mm ²)		G (N/mm ²)		w (KN/m ³)
	min-max	min-max	min-max	min-max	min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100 180	2,0 3,2	690 1050	230 350	19				
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200 300	3,5 5,1	1020 1440	340 480	20				
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260 380	5,6 7,4	1500 1980	500 660	21				
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, etc.)	140 240	2,8 4,2	900 1260	300 420	16				



Proprietà materiale

Modifica

Nome: Muratura pietra

Tipo: Muratura

Colore materiale:

☒ Esistente ☐ Nuovo

☒ Definizione utente

☒ Rigidezza fessurata

Parametri di Analisi

E	[N/mm ²]	870
G	[N/mm ²]	290
w	[KN/m ³]	19.00
t _m	[N/cm ²]	117.00
τ	[N/cm ²]	2.17

Descrizione: DEFINIZ UTENTE - RIGIDEZZA FESS

OK Annulla ?

C8.7.1.5 Modelli di capacità per la valutazione di edifici in muratura Pareti murarie

Nel caso di analisi elastica con il fattore q (analisi lineare statica ed analisi dinamica modale con coefficiente di struttura), i valori di calcolo delle resistenze sono ottenuti dividendo i valori medi per i rispettivi fattori di confidenza e per il coefficiente parziale di sicurezza dei materiali. Nel caso di analisi non lineare, i valori di calcolo delle resistenze da utilizzare sono ottenuti dividendo i valori medi per i rispettivi fattori di confidenza.


$$f_m = \frac{100 + 180}{2 \cdot 1.20} = 117.0 \frac{N}{cm^2} \quad E = \frac{690 + 1050}{2} = 870.0 \frac{N}{mm^2}$$

Verifica analisi

 **Normativa**

 OPCM 3274

 NT 05

 NT 08

 DM 96

N.	Inserisci in relazione	Dir. sistema	Carico sismico proporzionale	Ecc. [cm]	Dmax SLV [cm]	Du SLV [cm]	q* SLV	Dmax SLD [cm]	Dd SLD [cm]	Dmax SLO [cm]	Do SLO [cm]	Alfa u	Alfa e
9	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Masse	66.05	1.517	2.031	2.745	0.333	1.594	0.252	1.351	1.093	3.347
10	<input type="checkbox"/>	+X	Masse	-65.05	1.724	1.863	2.802	0.408	1.466	0.308	1.265	1.068	2.775
11	<input type="checkbox"/>	+X	1° modo	65.05	1.666	1.341	3.331	0.397	1.066	0.277	0.785	0.832	2.181
12	<input type="checkbox"/>	+X	1° modo	-65.05	1.899	1.399	3.536	0.486	1.090	0.340	0.806	0.767	1.963
13	<input type="checkbox"/>	-X	Masse	65.05	1.252	0.822	2.404	0.258	0.822	0.195	0.822	0.736	2.266
14	<input type="checkbox"/>	-X	Masse	-65.05	1.329	0.692	2.485	0.280	0.692	0.212	0.692	0.624	1.892
15	<input type="checkbox"/>	-X	1° modo	65.05	1.432	1.006	2.455	0.317	1.006	0.240	0.961	0.763	2.367
16	<input type="checkbox"/>	-X	1° modo	-65.05	1.554	0.804	2.689	0.349	0.804	0.264	0.804	0.604	1.842
17	<input type="checkbox"/>	+Y	Masse	8.6474	0.458	1.047	1.379	0.105	1.047	0.079	1.047	1.609	4.535
18	<input type="checkbox"/>	+Y	Masse	8.6474	0.523	1.036	1.483	0.112	1.036	0.084	1.036	1.506	4.318
19	<input type="checkbox"/>	+Y	1° modo	8.6474	0.656	1.134	1.691	0.127	1.134	0.096	1.134	1.427	4.265
20	<input type="checkbox"/>	+Y	1° modo	8.6474	0.716	1.136	1.836	0.131	1.136	0.099	1.136	1.364	4.131
21	<input type="checkbox"/>	-Y	Masse	8.6474	0.394	0.791	1.285	0.098	0.791	0.074	0.791	1.431	3.910
22	<input type="checkbox"/>	-Y	Masse	8.6474	0.424	0.789	1.313	0.103	0.789	0.078	0.789	1.382	3.801
23	<input type="checkbox"/>	-Y	1° modo	8.6474	0.518	1.145	1.383	0.119	1.145	0.090	1.145	1.589	4.628
24	<input type="checkbox"/>	-Y	1° modo	8.6474	0.605	0.766	1.471	0.131	0.766	0.099	0.766	1.140	3.317

 **Visualizza dettagli analisi**

Inserisci tutte le analisi in relazione

Attiva normativa

Cancella analisi

Esci



Legenda colori

☒ Verificato ☐ Non verificato ☐ Non converge a p.p.

Esporta Piano-Soil

Risultati delle verifiche: edificio allo SDF, LC2
SOLAI RIGIDI
 $\alpha_{u med, x} = 0,81$

LC1

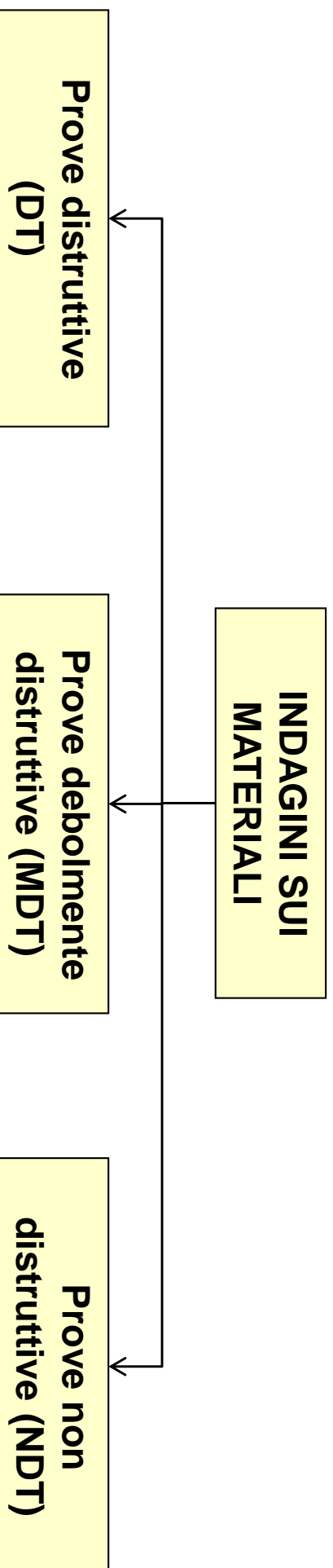
N.	Inserisci in relazione	Dir. sisma	Carico sismico proporzionale	Ecc. [cm]	Dmax SLV [cm]	Du SLV [cm]	q* SLV	Dmax SLD [cm]	Dd SLD [cm]	Alfa u	Alfa e
9	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Masse	65.05	1.629	1.119	3.887	0.397	1.119	0.726	2.330
10	<input type="checkbox"/>	+X	Masse	-65.05	1.778	1.145	3.903	0.449	1.145	0.684	2.188
11	<input type="checkbox"/>	+X	1° modo	65.05	1.886	1.890	4.004	0.489	1.649	0.749	2.888
12	<input type="checkbox"/>	+X	1° modo	-65.05	2.303	1.535	4.197	0.648	1.294	0.691	1.890
13	<input type="checkbox"/>	-X	Masse	65.05	1.518	0.952	3.556	0.352	0.952	0.681	2.160
14	<input type="checkbox"/>	-X	Masse	-65.05	1.618	0.974	3.570	0.387	0.974	0.655	2.074
15	<input type="checkbox"/>	-X	1° modo	65.05	1.749	1.756	3.517	0.433	1.314	0.853	2.509
16	<input type="checkbox"/>	-X	1° modo	-65.05	1.860	1.374	3.561	0.474	1.292	0.769	2.331
17	<input type="checkbox"/>	+Y	Masse	8.6474	0.904	1.462	2.131	0.156	1.462	1.408	4.585
18	<input type="checkbox"/>	+Y	Masse	8.6474	0.975	1.647	2.179	0.173	1.647	1.377	4.802
19	<input type="checkbox"/>	+Y	1° modo	8.6474	1.066	1.351	2.407	0.188	1.351	1.197	3.846
20	<input type="checkbox"/>	+Y	1° modo	8.6474	1.115	1.363	2.502	0.198	1.363	1.167	3.753
21	<input type="checkbox"/>	-Y	Masse	8.6474	0.781	0.855	2.078	0.134	0.855	1.063	3.201
22	<input type="checkbox"/>	-Y	Masse	8.6474	0.833	0.865	2.114	0.143	0.865	1.026	3.142
23	<input type="checkbox"/>	-Y	1° modo	8.6474	0.907	1.744	2.186	0.154	1.478	1.373	4.624
24	<input type="checkbox"/>	-Y	1° modo	8.6474	0.989	1.256	2.196	0.176	1.256	1.191	3.802

$\alpha_{u med, x} = 0,72$

LC2

Dmax SLV [cm]	Du SLV [cm]	q* SLV	Dmax SLD [cm]	Dd SLD [cm]	Alfa u	Alfa e
1.517	2.031	2.745	0.333	1.594	1.093	3.347
1.724	1.863	2.802	0.408	1.466	1.068	2.775
1.666	1.341	3.331	0.397	1.066	0.832	2.181
1.899	1.399	3.536	0.486	1.090	0.767	1.963
1.252	0.822	2.404	0.258	0.822	0.736	2.266
1.329	0.692	2.485	0.280	0.692	0.624	1.892
1.432	1.006	2.455	0.317	1.006	0.763	2.367
1.554	0.804	2.689	0.349	0.804	0.604	1.842
0.458	1.047	1.379	0.105	1.047	1.009	4.535
0.523	1.036	1.483	0.112	1.036	1.506	4.318
0.656	1.134	1.691	0.127	1.134	1.427	4.265
0.716	1.136	1.836	0.131	1.136	1.364	4.131
0.394	0.791	1.285	0.086	0.791	1.431	3.910
0.424	0.789	1.313	0.103	0.789	1.382	3.801
0.518	1.145	1.383	0.119	1.145	1.589	4.628
0.605	0.766	1.471	0.131	0.766	1.140	3.317

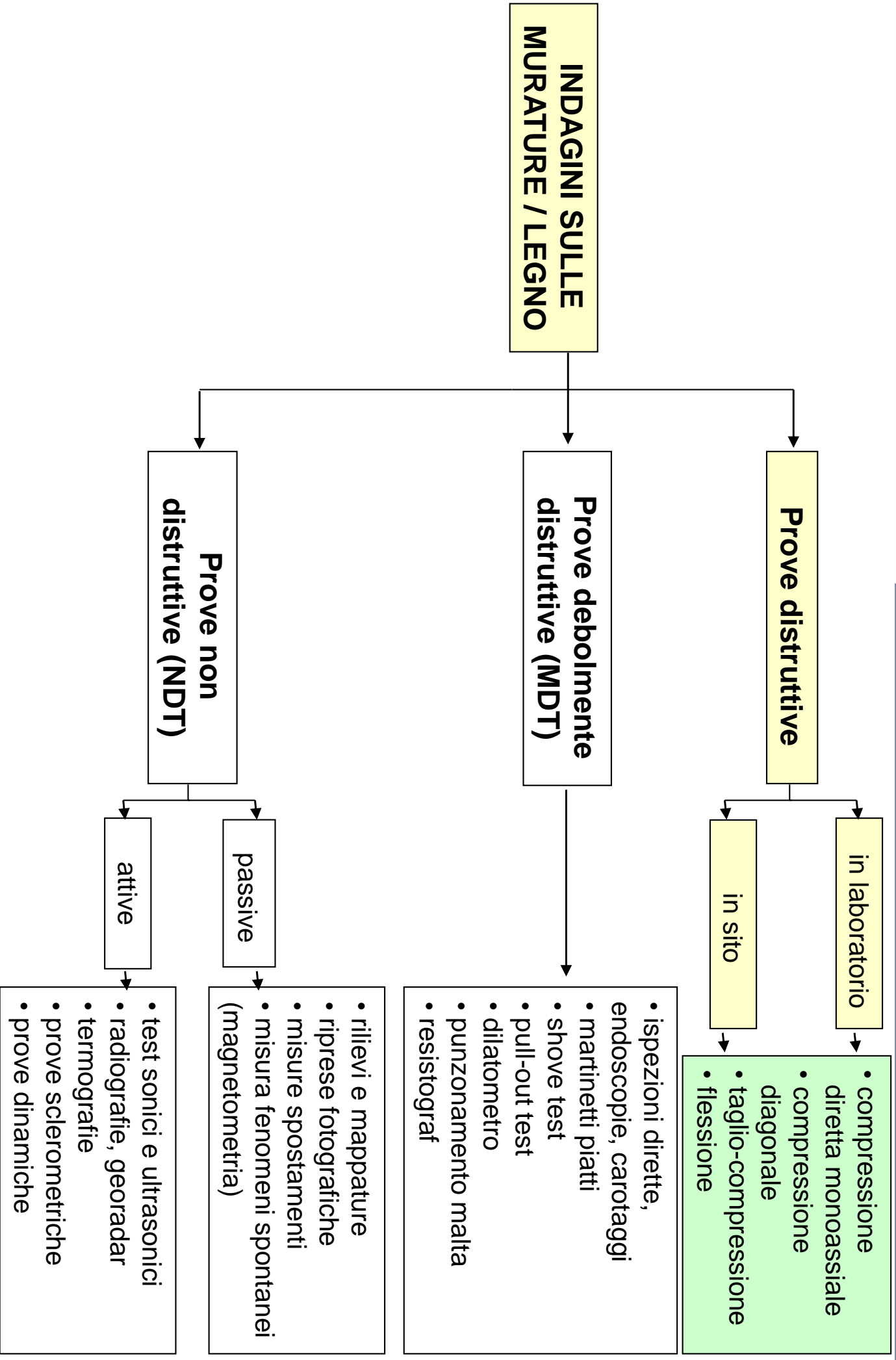
$\alpha_{u med, x} = 0,81$

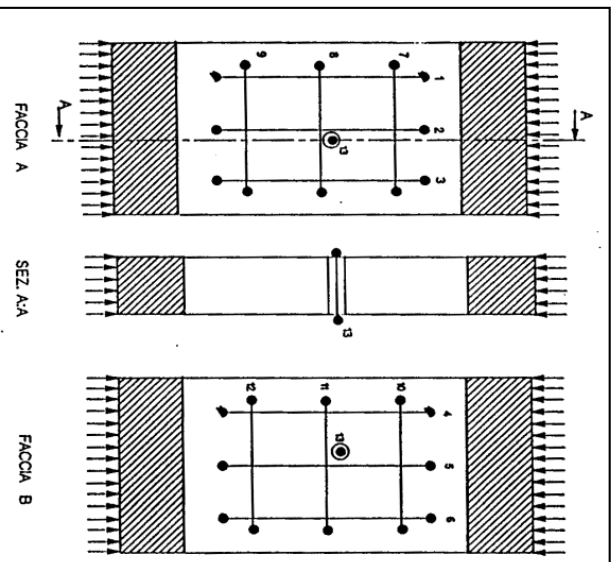


Le prove distruttive sono quelle che possono fornire maggiori informazioni sulle proprietà meccaniche dei materiali. Il principale difetto insito nella tipologia di prova è la notevole invasività nei confronti della struttura

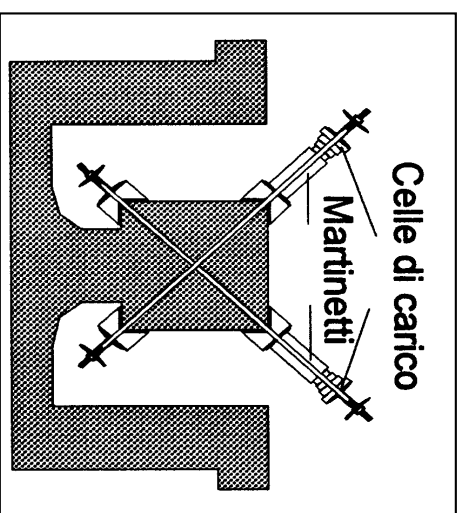
Le prove non distruttive sono indicate, anche ai fini del rispetto delle NTC2008, come complemento alle prove distruttive/debolmente distruttive. **L'uso combinato di NDT con DT/MDT** riesce infatti generalmente a dare una connotazione “quantitativa” alle prove non distruttive, calibrandone localmente i risultati.

La combinazione di prove NDT con le altre tipologie consente pertanto di **estendere i risultati quantitativi “puntuali”** ad aree più vaste della struttura in esame, salendo di livello di conoscenza.

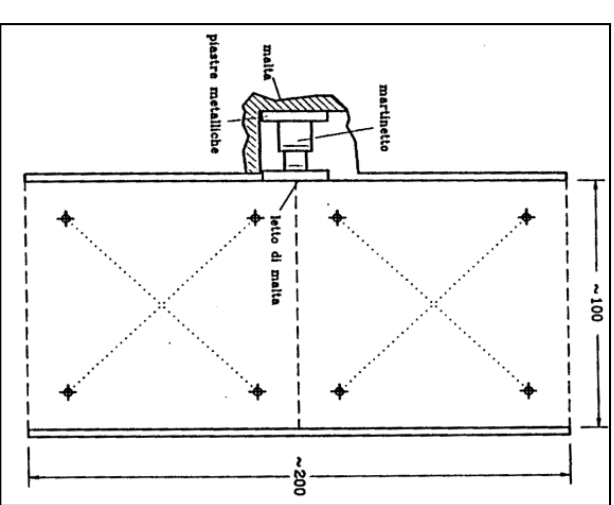




COMPRESSIONE MONOASSIALE



COMPRESSIONE DIAGONALE



TAGLIO COMPRESSIONE

Misura diretta di
caratteristiche
meccaniche

resistenza

- compressione
- taglio

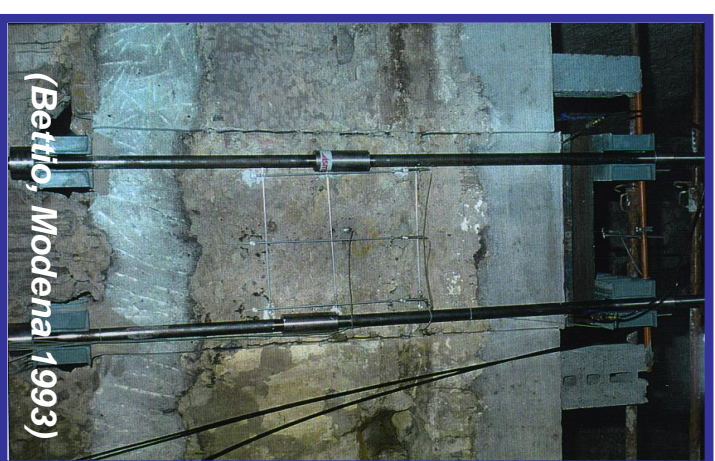
deformabilità

- modulo elastico
- modulo a taglio
- coefficiente di Poisson

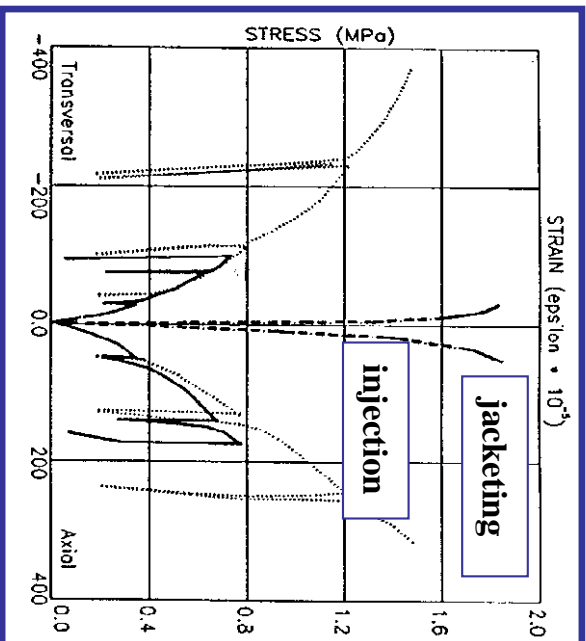
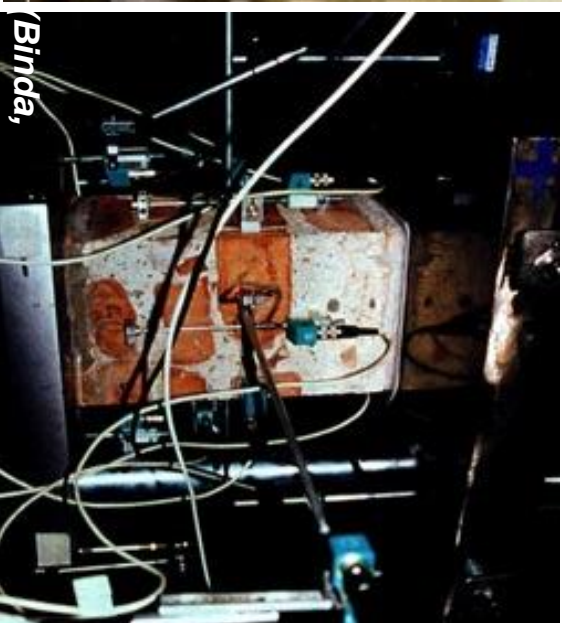
in laboratorio

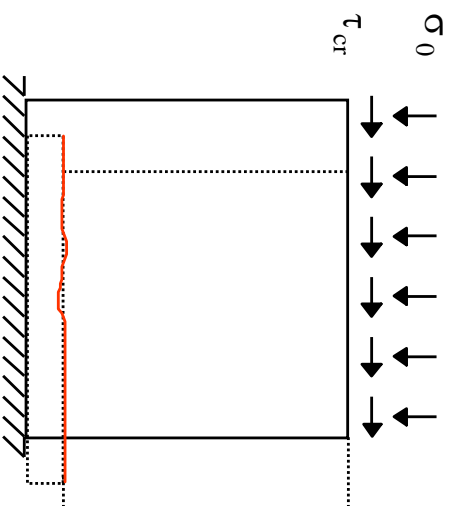


in situ

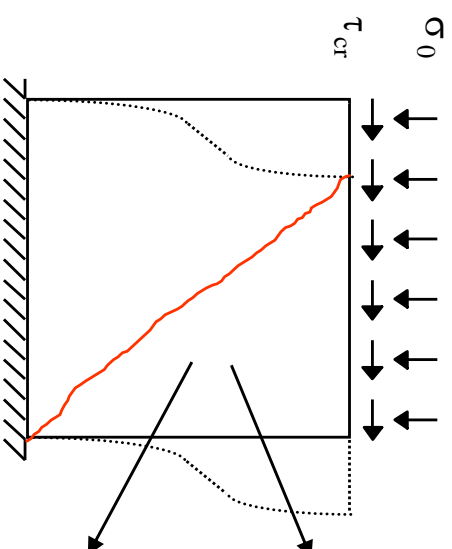


in laboratorio
su campioni
prelevati in
situ

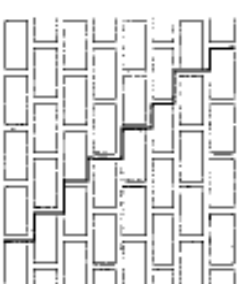




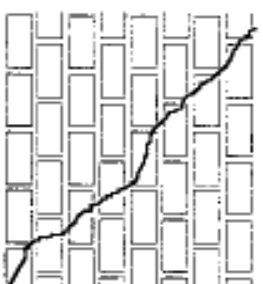
**Taglio -
scorrimento**



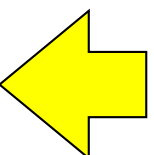
**Taglio con
fessurazione diagonale**



fessurazione
diagonale con
giunti deboli



fessurazione
diagonale con
giunti resistenti



RELATIVI CRITERI DI ROTTURA:

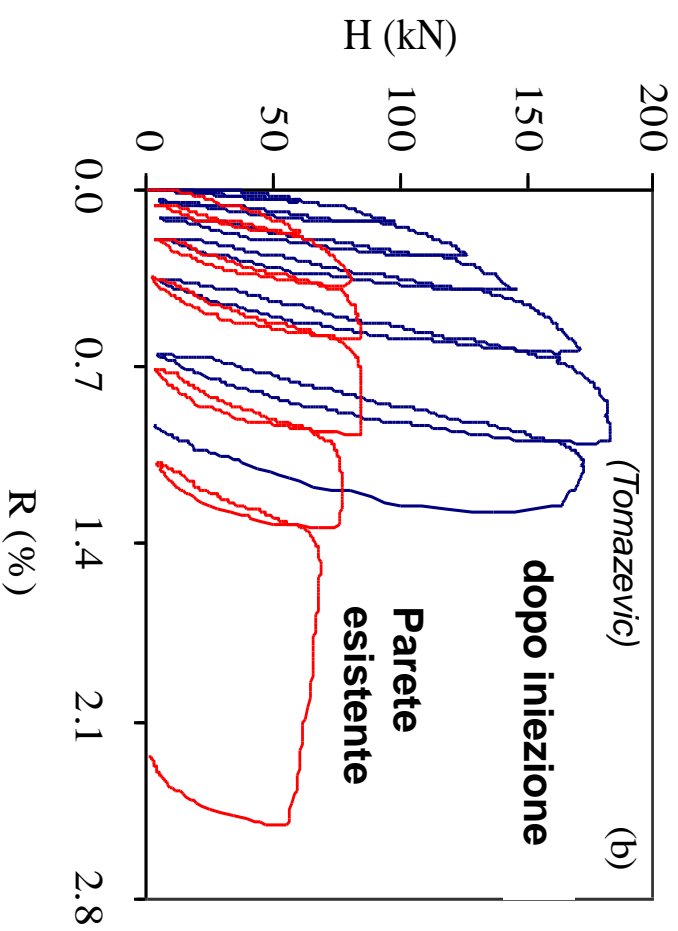
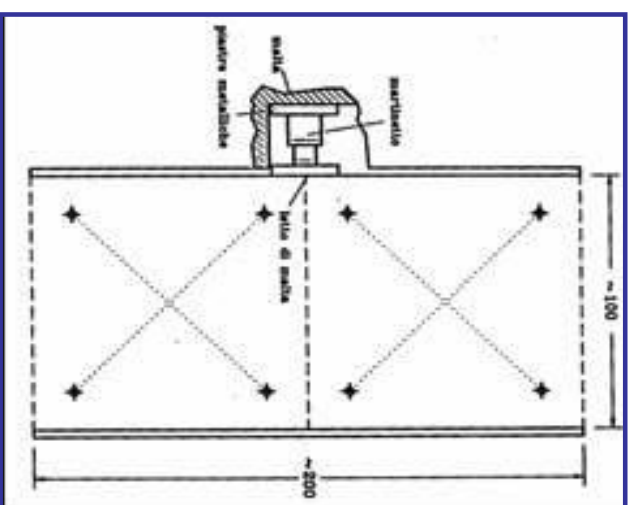
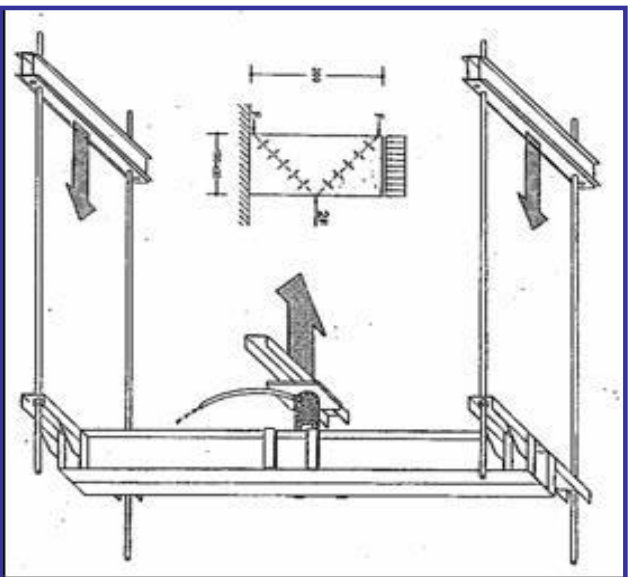
**Criterio alla 'Mohr-Coulomb'
(NTC 2008, EC6)**

$$\tau = c + \mu \sigma$$

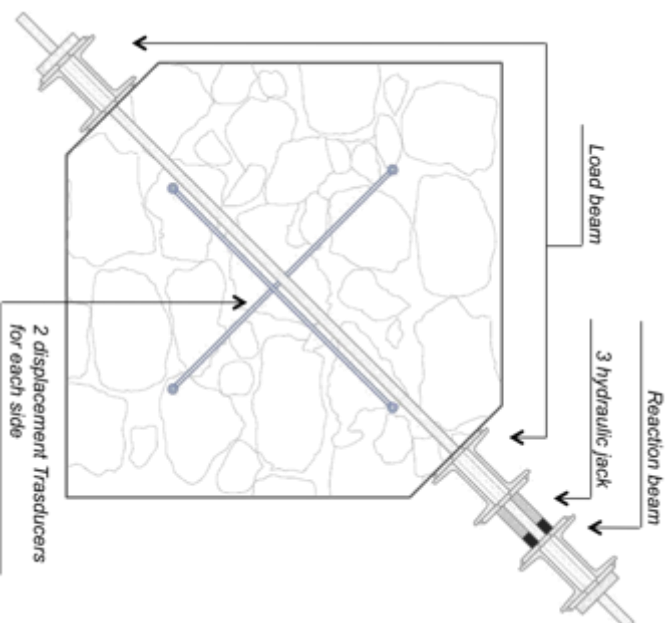
**Criterio del massimo sforzo principale di trazione
(Circolare NTC2008 per muratura in ed. esistenti)**

$$f_t = \sigma_t = \sqrt{\left(\frac{\sigma_o}{2}\right)^2 + (b\tau_{H_{max}})^2} - \frac{\sigma_o}{2}$$

b: fattore di distribuzione
del taglio, varia con la
geometria del pannello



in sito compressione e taglio

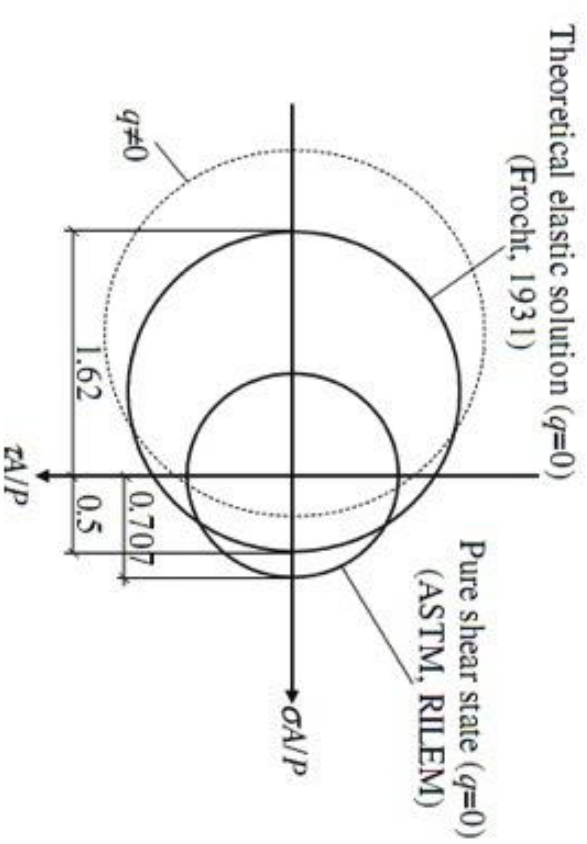


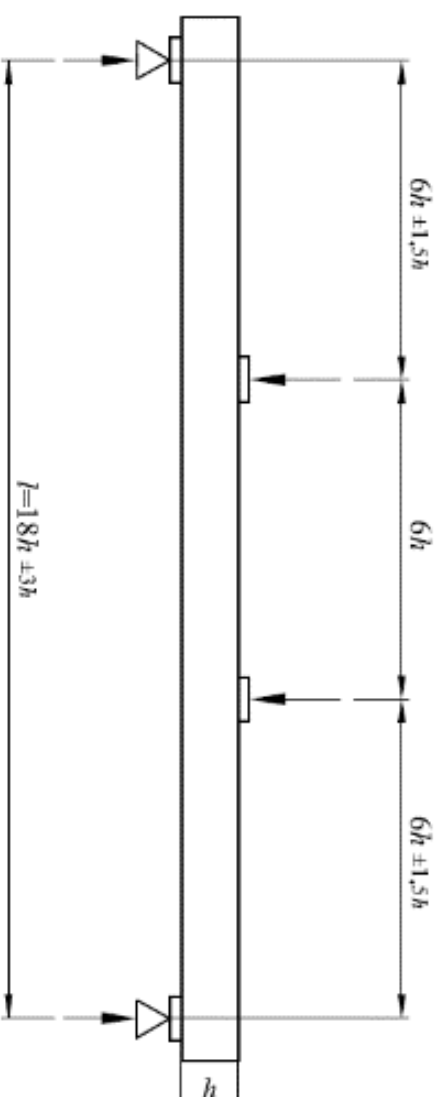
compression diagonale in sito

$$S_s = \frac{0.707 P}{A_n}$$

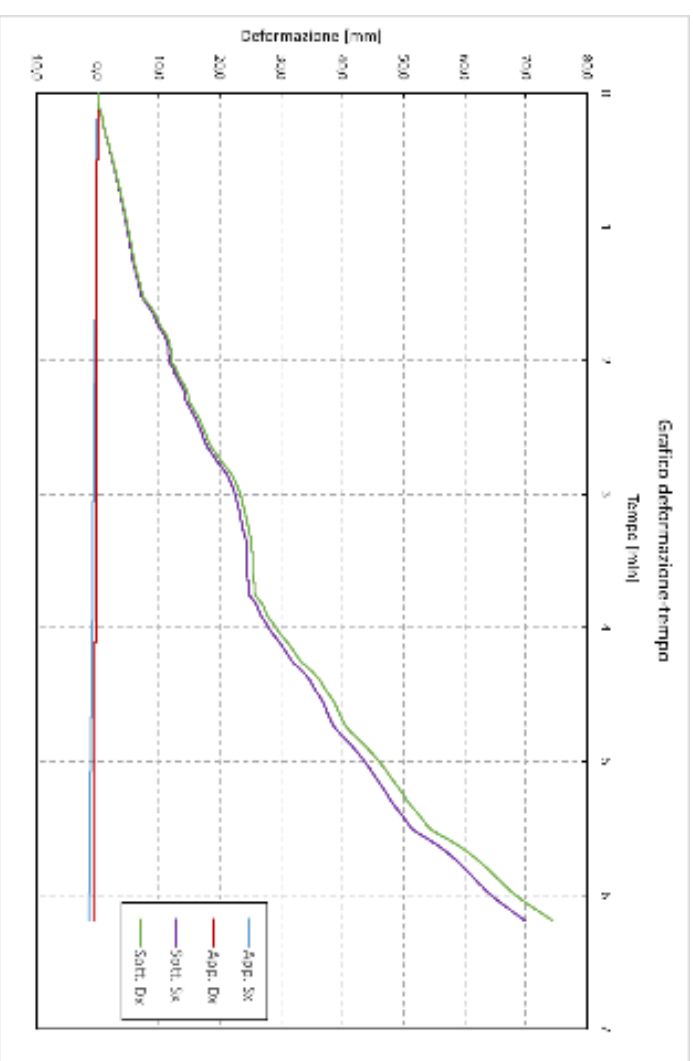
$$\gamma = \frac{\Delta V + \Delta H}{g}$$

$$G = \frac{S_s}{\gamma}$$





Prova a flessione in laboratorio



**INDAGINI SU CLS
ACCIAIO - FIBRE**

Prove distruttive

prelievo in sito
e prove in
laboratorio

- compressione su provini cls
- trazione su barre di armatura
- trazione su provini di acciaio

**Prove debolmente
distruttive (MDT)**

- ispezioni dirette, endoscopie, microcarotaggi
- pull-out test
- pistola windsor
- perforazioni con trapano ed analisi delle polveri (carbonatazione, cloruri...)
- pull-off test
- shear test

**Prove non
distruttive (NDT)**

- prove ultrasoniche
- prove pacometriche
- prove sclerometriche
- prove sonreb
- prove dei potenziali di corrosione
- durometro
- termocamera
- prove acustiche stimulate
- georadar



**COMPRESSIONE SU PROVINI
CILINDRICI IN CLS**

TRAZIONE SU ELEMENTI IN ACCIAIO



**SUCCESSIVA DETERMINAZIONE DI
CARBONATAZIONE / ATTACCO CLORURI**

TRAZIONE SU ELEMENTI IN ACCIAIO

INDAGINI SULLE MURATURE / LEGNO

Prove distruttive

in laboratorio

- compressione diretta monoassiale
- compressione diagonale
- taglio-compressione
- flessione

in sito

Prove debolmente distruttive (MDT)

- ispezioni dirette, endoscopie, carotaggi
- martinetti piatti
- shove test
- pull-out test
- dilatometro
- punzonamento malta
- resistograf

Prove non distruttive (NDT)

passive

- rilievi e mappature
- riprese fotografiche
- misure spostamenti
- misura fenomeni spontanei (magnetometria)

attive

- test sonici e ultrasonici
- radiografie, georadar
- termografie
- prove sclerometriche
- prove dinamiche

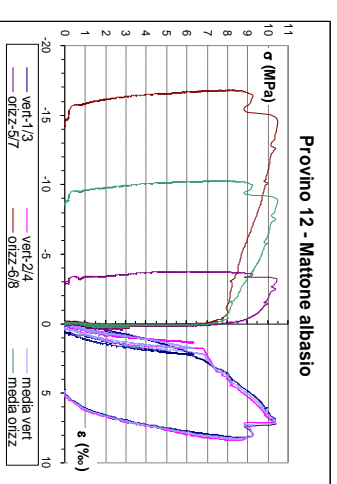
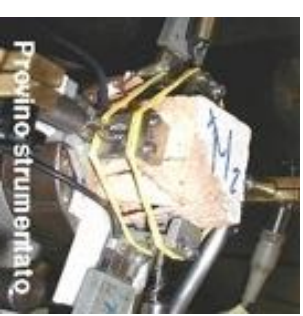
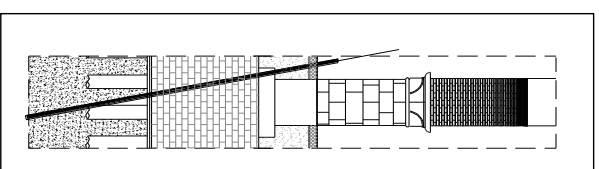
CAROTAGGI



(Binda, 2000)



**Prelievo e ricostruzione
geometrica di una carota**



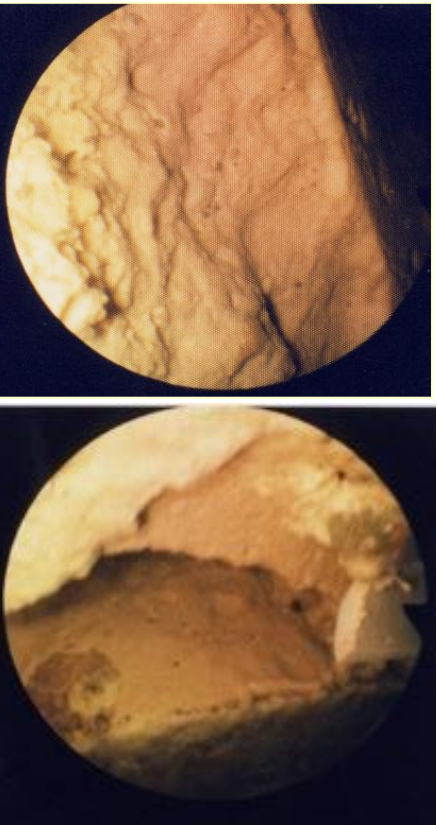
- Analisi della composizione e della stratigrafia della muratura
- Possibilità di eseguire indagini sui materiali
- Possibilità di effettuare indagini endoscopiche nel foro
- Valutazioni sul successivo riempimento del foro

cilindri per prove di compressione

ESECUZIONE DI ENDOSCOPIE IN FORI DI CAROTAGGIO O IN FORI APPOSITI

ENDOSCOPIA

Sonda ottica tradizionale, a fibre
ottiche o videocamera
Oculare e macchina fotografica o
collegamento a monitor per la
visualizzazione

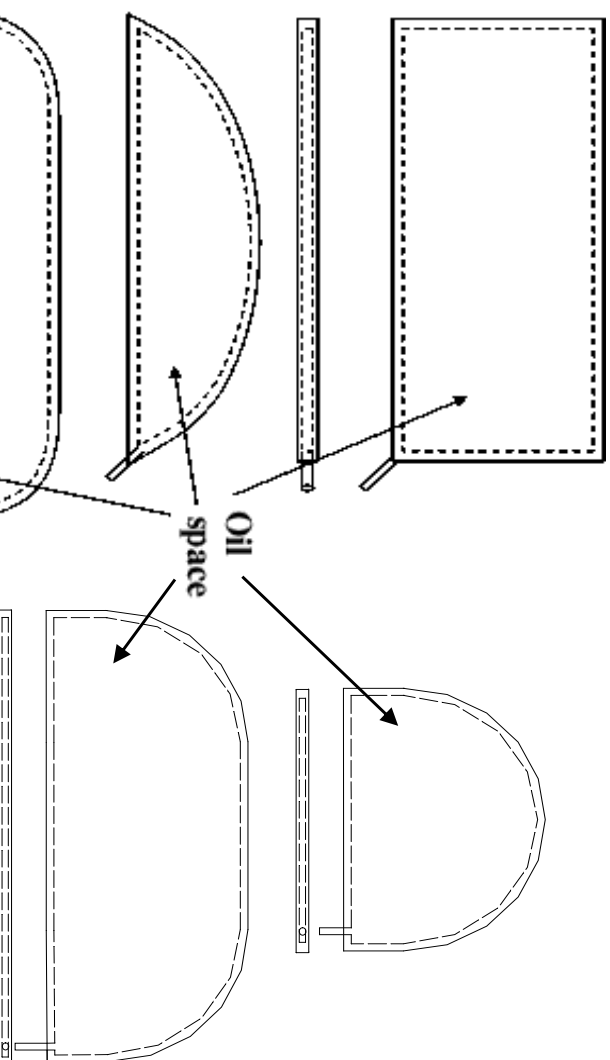


Informazioni sulle caratteristiche morfologiche delle murature (spessore, composizione interna, presenza e dimensioni di fessure e/o vuoti, etc.)

Permettono valutazioni sull' iniettabilità e sull' efficacia dell' intervento di iniezione.

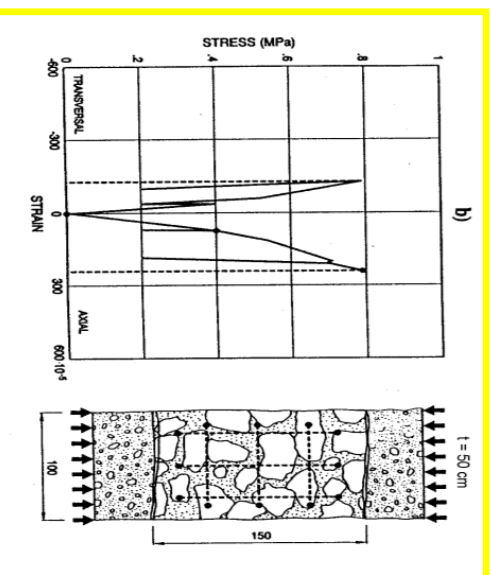
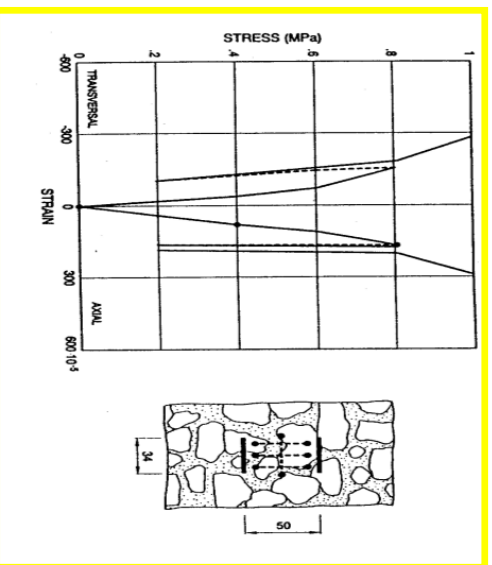
Principali problemi legati al foro d' indagine (dimensioni ed illuminazione; omogeneizzazione delle pareti del foro dovuta alla fase di perforazione, etc.)

MARTINETTI PIATTI SINGOLI E DOPPI



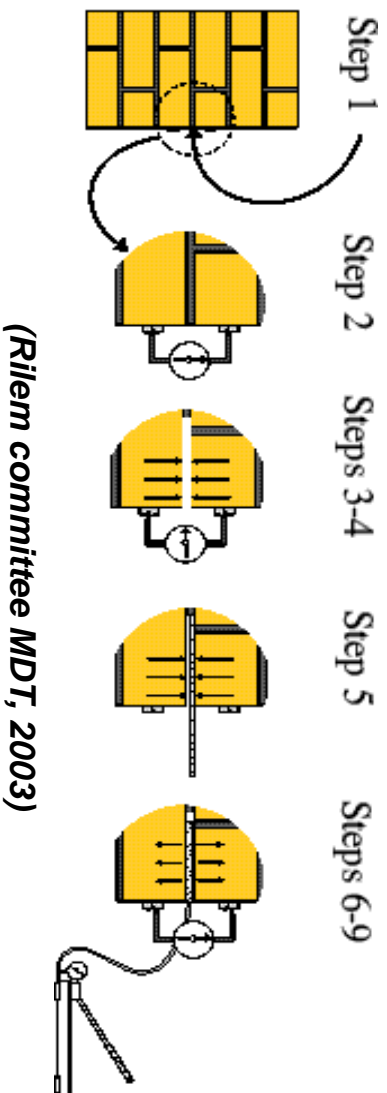
- Martinetto singolo: misura dello stato di tensione all' interno della muratura
- Martinetti doppi: misura della resistenza a compressione monoassiale e delle proprietà elastiche
- Limitazione data dalle dimensioni del martinetto (verifica locale)
- Difficoltà esecutive in murature con giunti irregolari
- Misura della resistenza del paramento esterno in murature multistrato

(Rilem committee MDT, 2003)
ASTM C1196-91, ASTM C1197-91



CALIBRAZIONE MARTINETTI PIATTI DOPPI

(MPa)	Campione 1		Campione 2	
	diretta	martinetti	diretta	martinetti
E ₁	490	490	290	240
E ₂	240	240	170	-
σ _{rott}	1.0	1.0	0.8	0.6



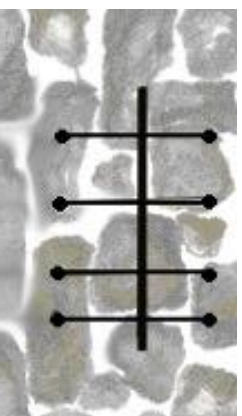
$$S_f = K_j K_a P_f$$

S_f : valore calcolato dello sforzo

K_j : costante di calibrazione del martinetto (<1)

K_a : costante di taglio e del martinetto (<1)

P_f : pressione del martinetto piatto



(Binda, 2000)

- Caso di muratura in pietra irregolare
- Caso di muratura in mattoni con giunti spessi

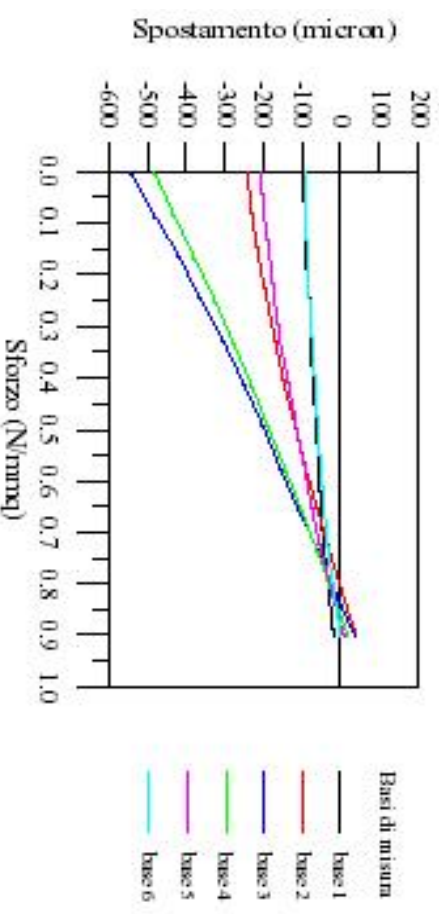
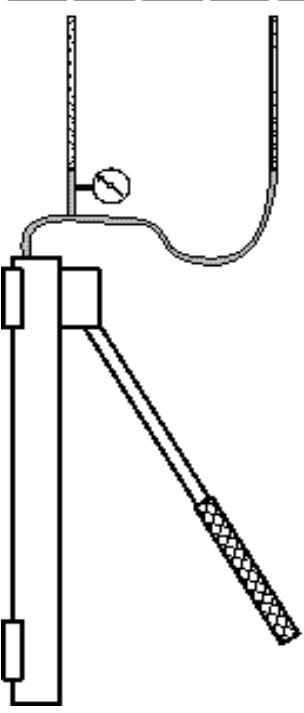
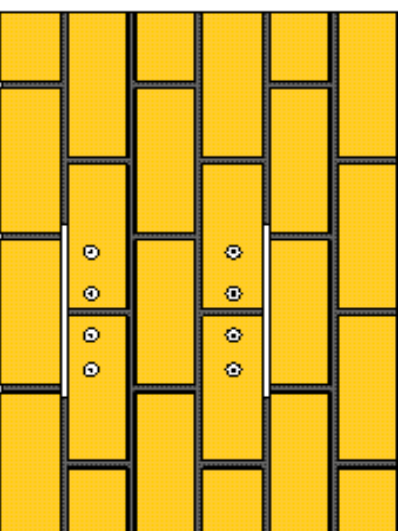
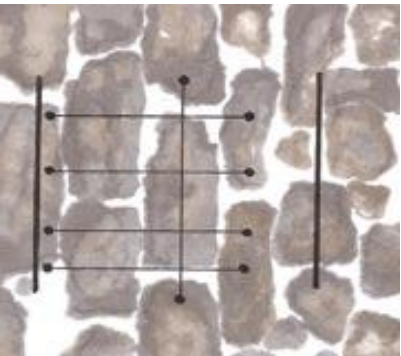
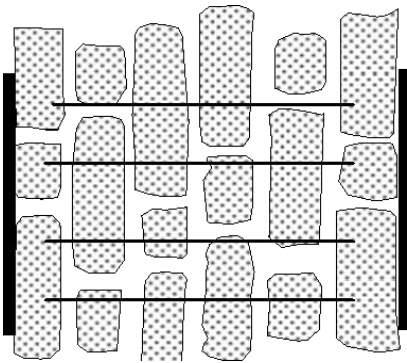


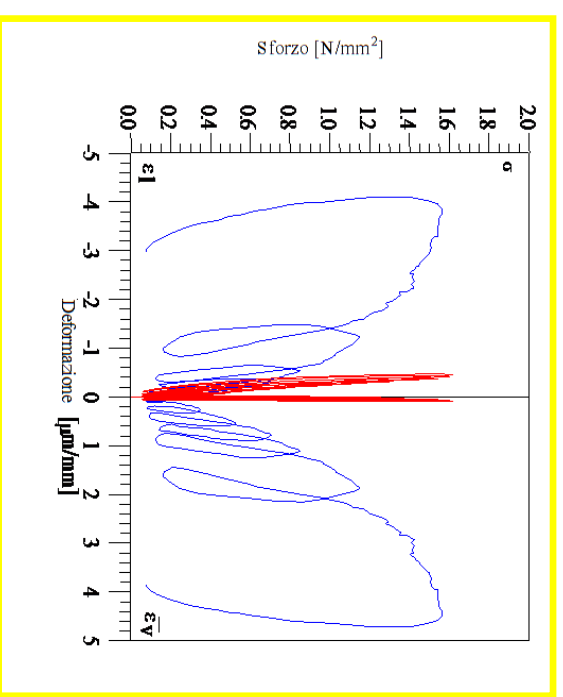
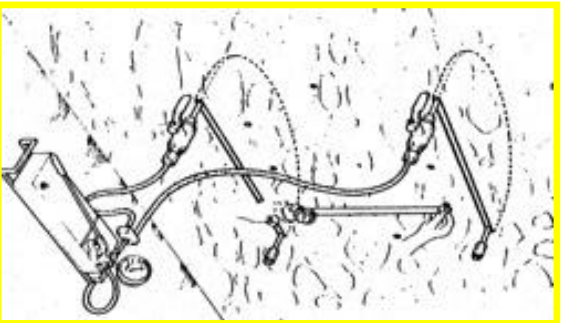
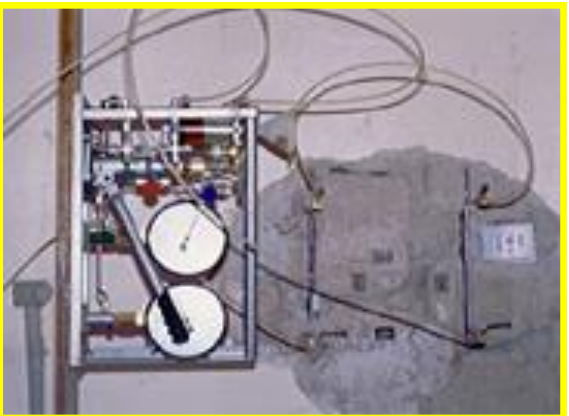
Fig. 13. Posizionamento di un martinetto.





(Rilem committee MDT, 2003)

- Muratura in mattoni
- Muratura in pietra irregolare



(Binda, 1998)

PROVA PENETROMETRICA



(Gucci, 1997)

Trapano portatile a batteria
Circuito elettrico per la misurazione del
lavoro di perforazione



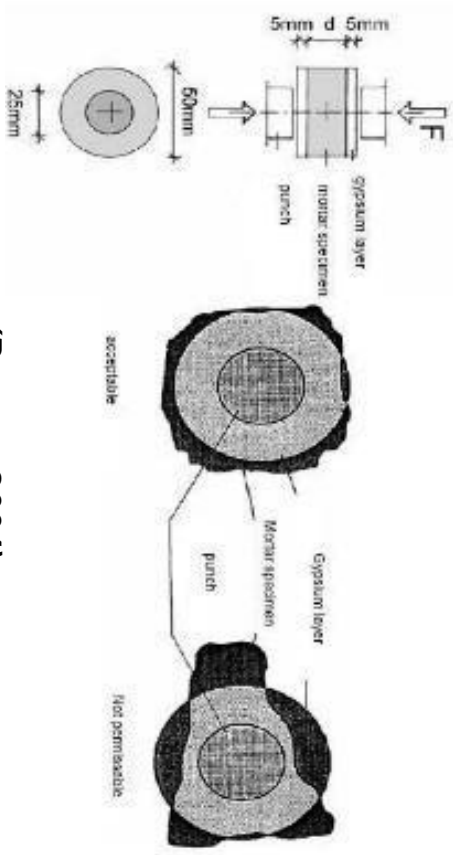
(Rilem committee MDT, 2003)

Determinazione delle variazioni (da punto a punto, nel tempo, etc.) di consistenza della malta
Determinazione in situ della resistenza dei giunti di malta dalla misurazione dell' energia spesa per praticare un piccolo foro con un trapano, se esiste un data-base per la calibrazione dei valori

Difficile correlazione con la resistenza della muratura

Difficile calibrazione con la resistenza della malta per murature storiche

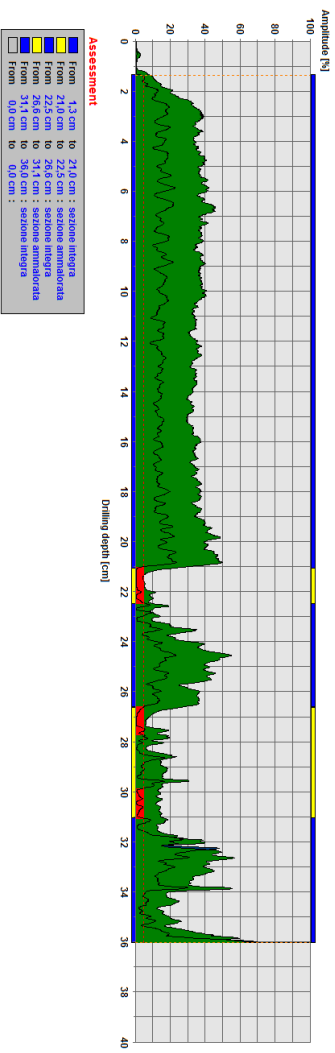
PROVA DI PUNZONAMENTO
SU MALTA

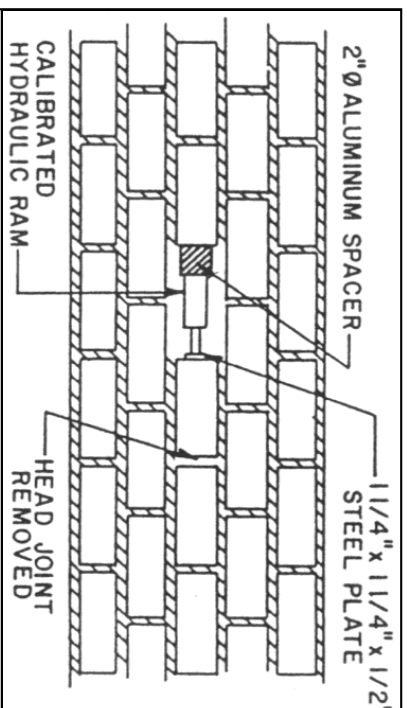


(Pauser, 2004)



RESISTOGRAF SU ELEMENTI LINEARI





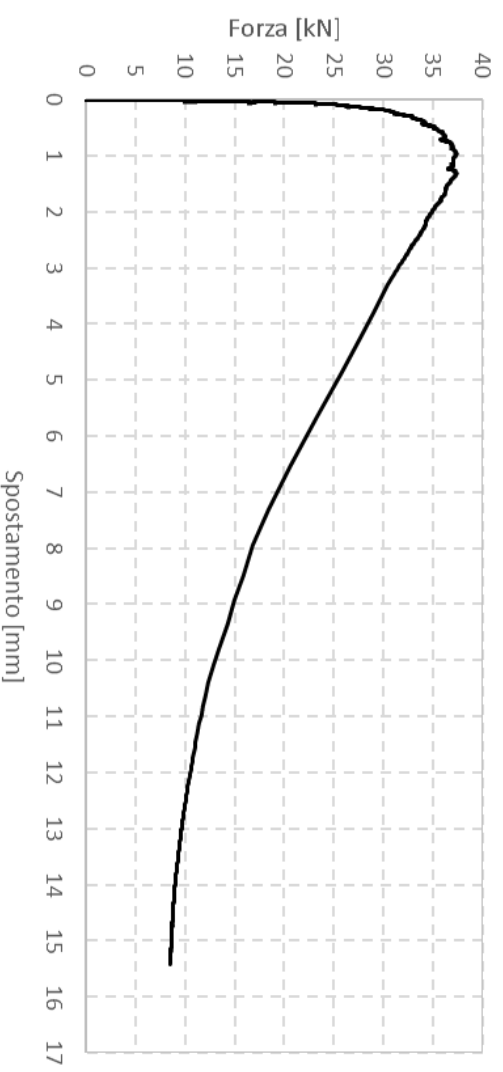
SHOVE TEST

Aderenza malta / elementi
resistenti

Difficile correlazione con la
resistenza a taglio della
muratura



Shove test 1



**INDAGINI SU CLS
ACCIAIO - FIBRE**

Prove distruttive

prelievo in sito
e prove in
laboratorio

- compressione su provini cls
- trazione su barre di armatura
- trazione su provini di acciaio

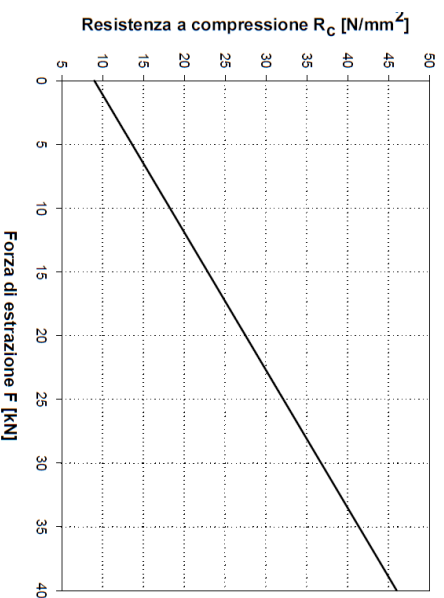
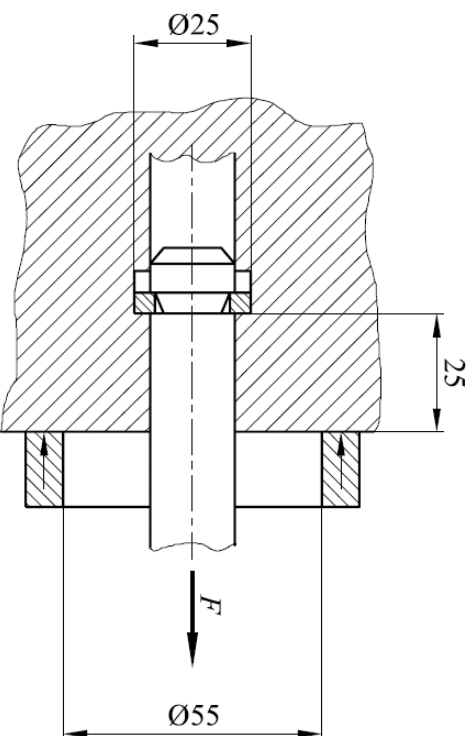
**Prove debolmente
distruttive (MDT)**

- ispezioni dirette, endoscopie, microcarotaggi
- pull-out test
- pistola windsor
- perforazioni con trapano ed analisi delle polveri (carbonatazione, cloruri...)
- pull-off test
- shear test

**Prove non
distruttive (NDT)**

- prove ultrasoniche
- prove pacometriche
- prove sclerometriche
- prove sonreb
- prove dei potenziali di corrosione
- durometro
- termocamera
- prove acustiche stimulate
- georadar

PULL-OUT CLS



- Derivazione della resistenza a compressione del calcestruzzo dalla pressione di estrazione di tassello post inserito mediante curve di calibrazione

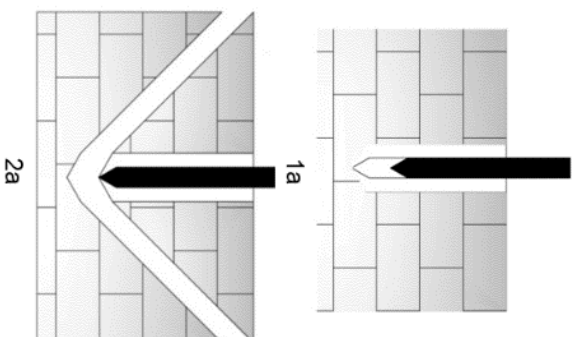


PULL OUT TEST

Resistenza allo strappo di una barra dalla muratura

Difficile correlazione con le caratteristiche meccaniche globali della muratura

Determinazione della resistenza ultima della connessione e delle modalità di collasso



MICROCAROTAGGIO

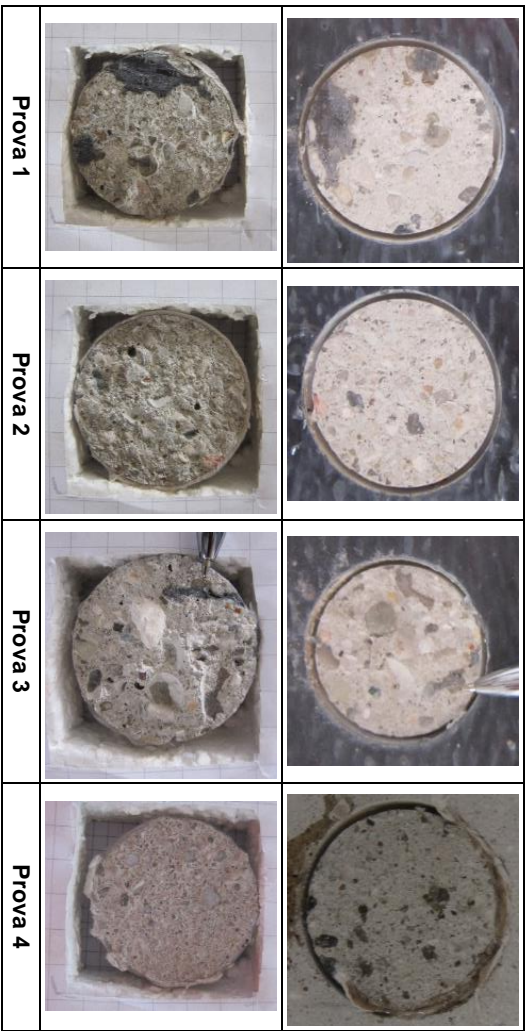


PROVE DEBOLMENTE DISTRUTTIVE

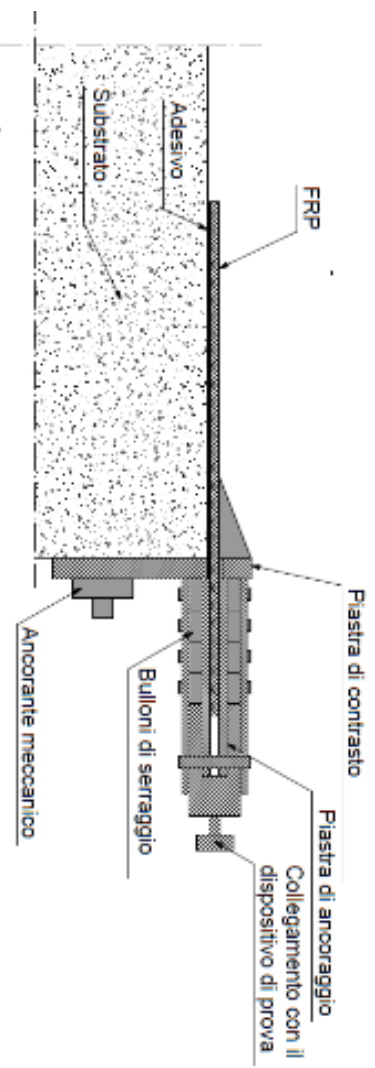
ANALISI POLVERI

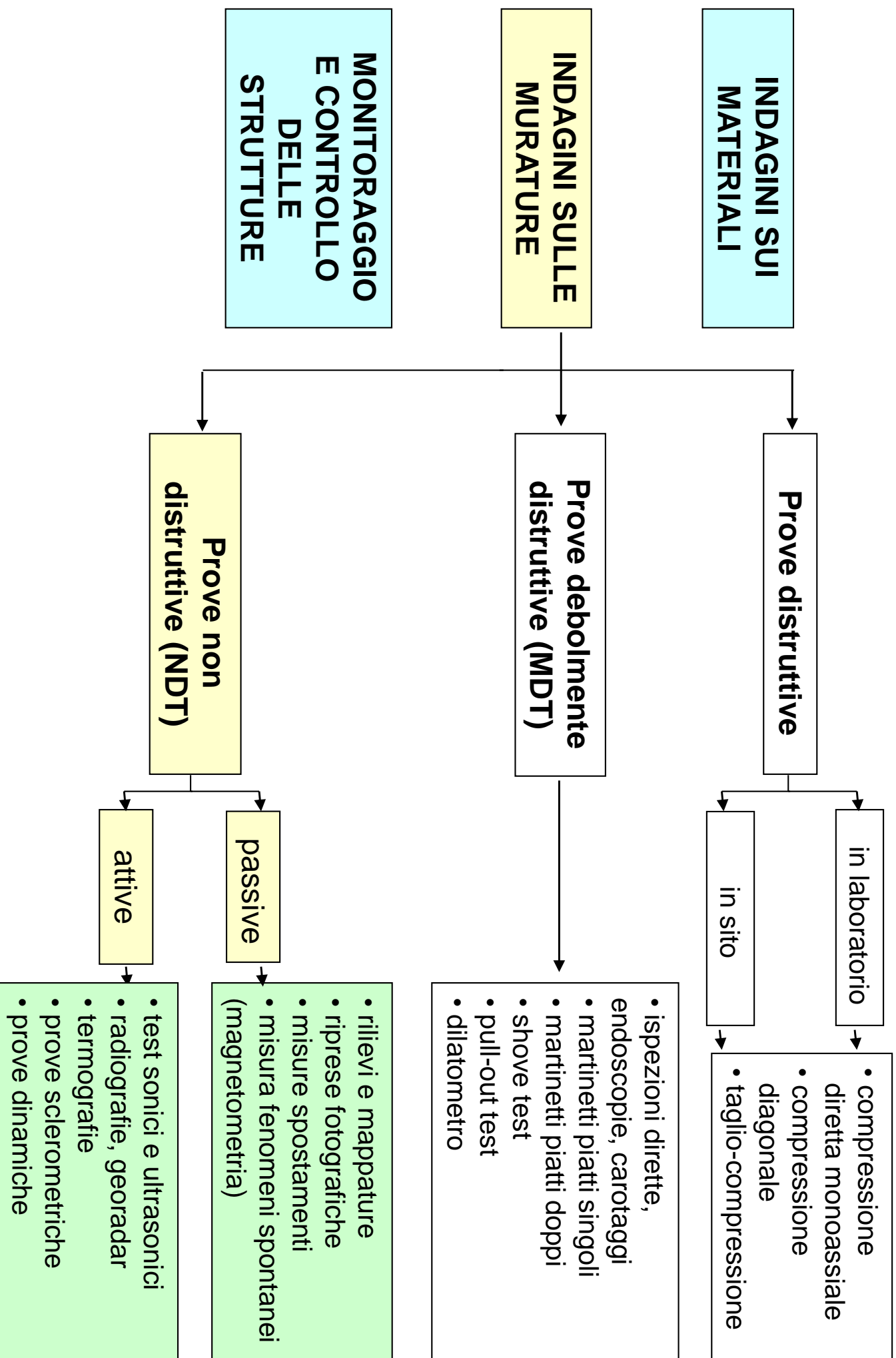


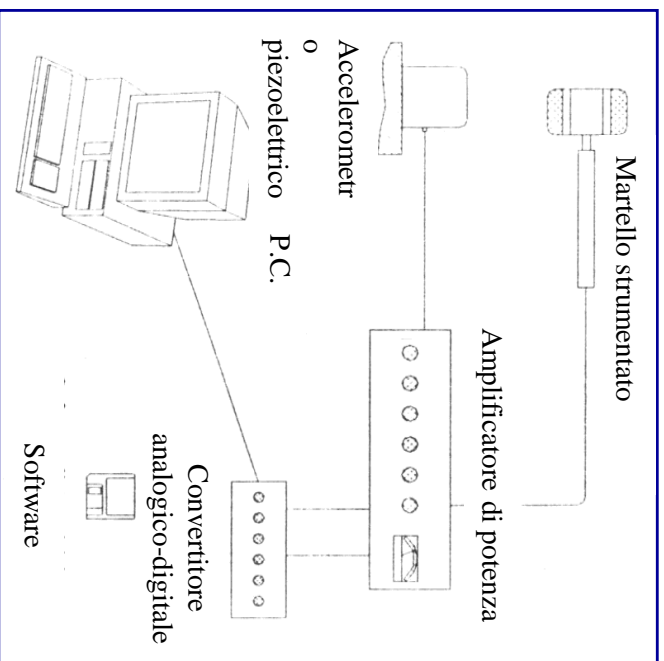
PULL OFF



SHEAR TEST







Schema di attrezzatura per prove soniche

- Misura della velocità di propagazione di onde elastiche nel mezzo
- La velocità di propagazione è direttamente correlabile con le proprietà fisiche e meccaniche del mezzo solo per materiali omogenei ed isotropi (densità ρ e modulo elastico dinamico E)
- Valutazioni qualitative della morfologia della sezione e per l'individuazione di anomalie o imperfezioni
- Valutazioni quantitative nella comparazione tra prima e dopo l'esecuzione di interventi di consolidamento
- Esame di ampie zone murarie (prove superficiali) ed interpolazioni con le prove in trasparenza
- Studio delle sezioni mediante elaborazioni tomografiche

Lunghezza d'onda e frequenze:

$2 \times 10^{-2} < \lambda < 20 \text{ m}$ **soniche** $20 \text{ Hz} < f < 20 \text{ kHz}$

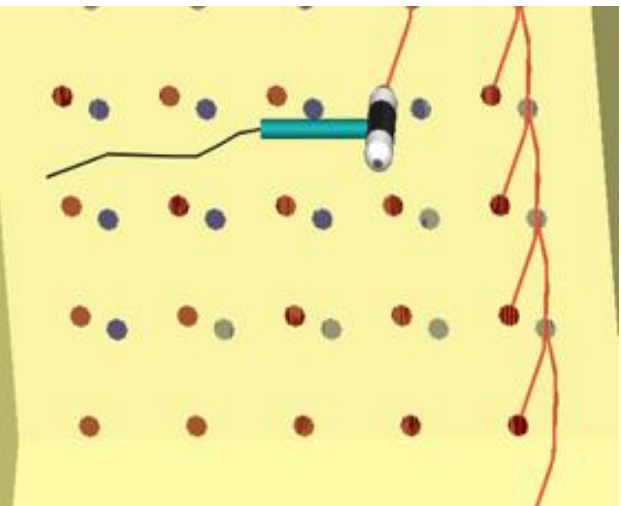
$10^{-7} < \lambda < 2 \times 10^{-2} \text{ m}$ **ultrasoniche** $20 \text{ kHz} < f < 1 \text{ GHz}$

➤ λ piccola, facilmente attenuabili

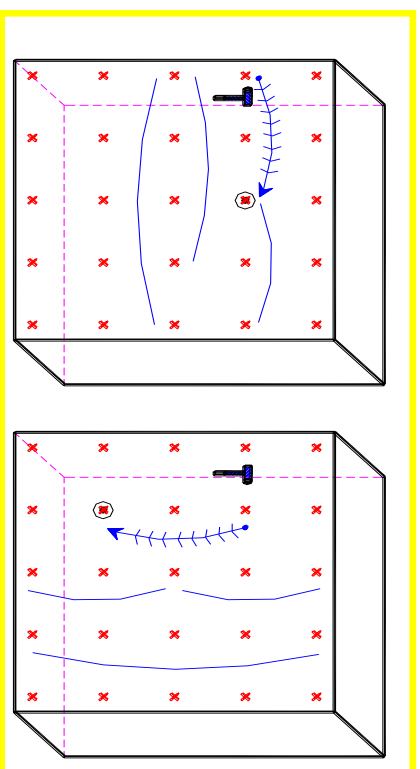


Esecuzione di prove ultrasoniche

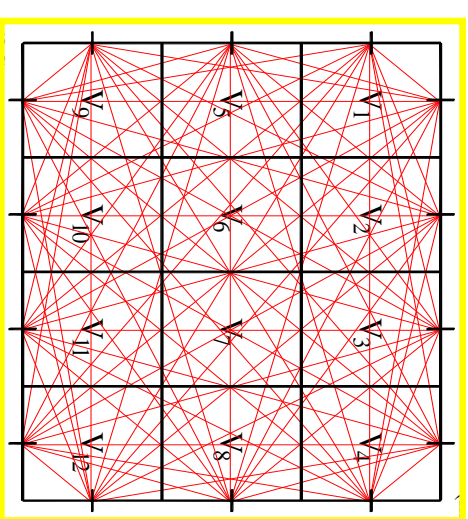
Prove dirette (trasparenza)



Prove indirette (superficiali)



Tomografie soniche

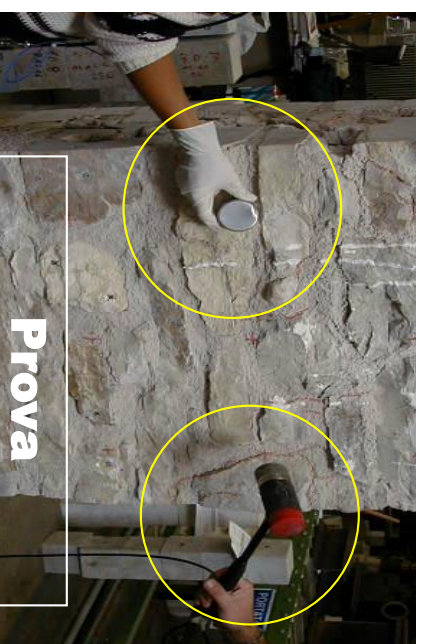


orizzontali

verticali

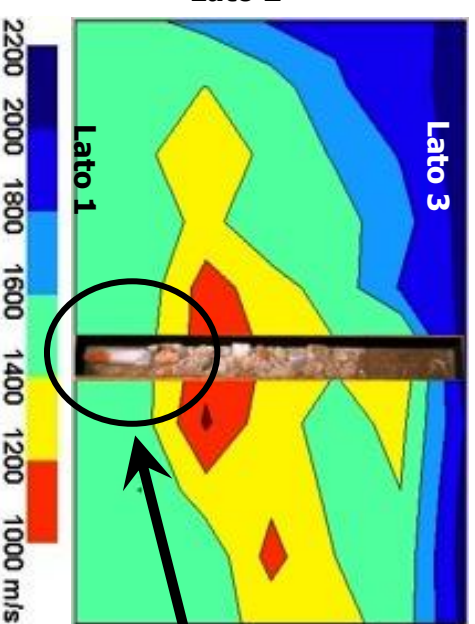


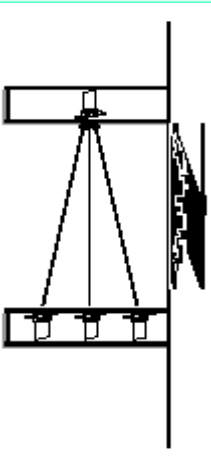
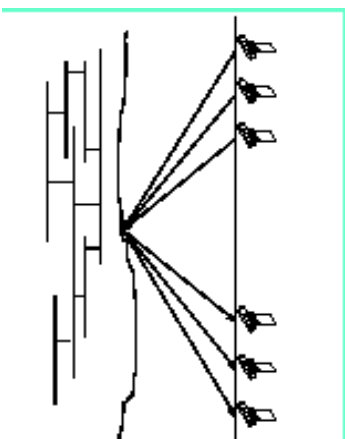
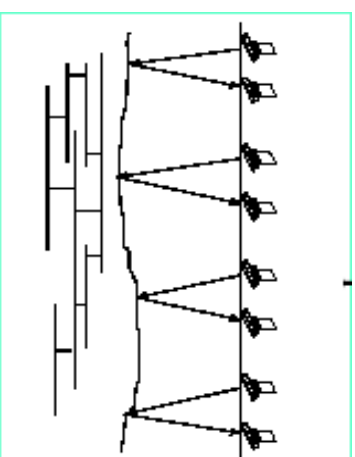
**Prova in
trasparenza**



**Prova
superficiale**

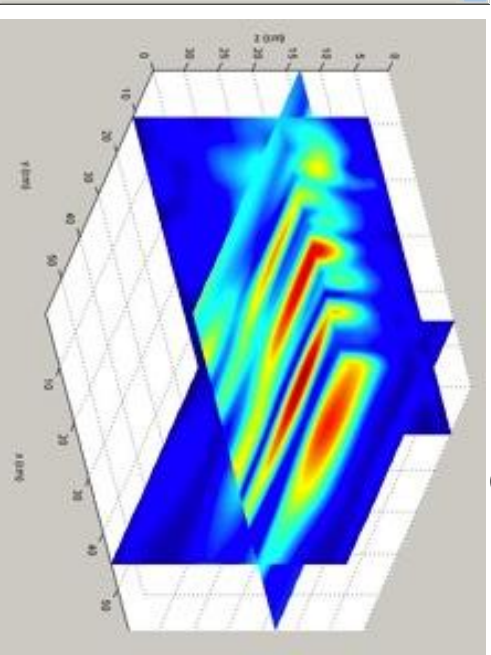
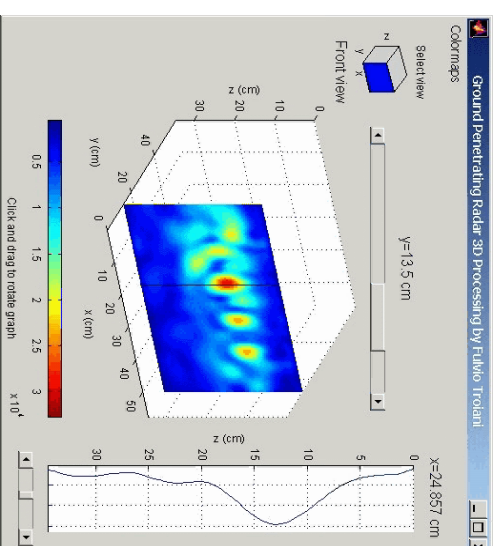
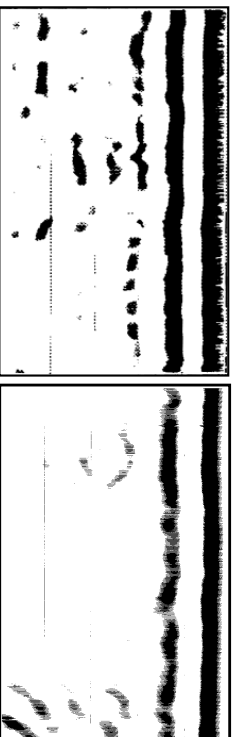
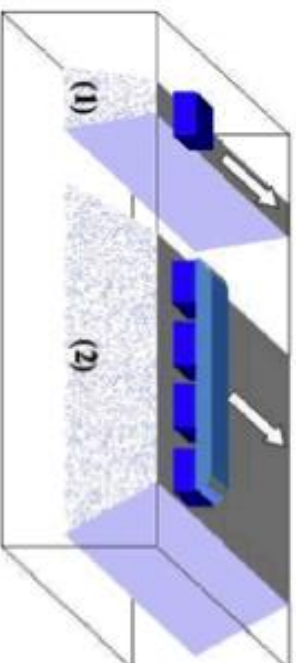
Lato 2





Echo-radar

Radar in trasparenza e tomografia



Echo-radar prima e dopo iniezioni consolidanti

Software per elaborazione 3D di echo-radar (Zanzi, 2003)

GEORADAR

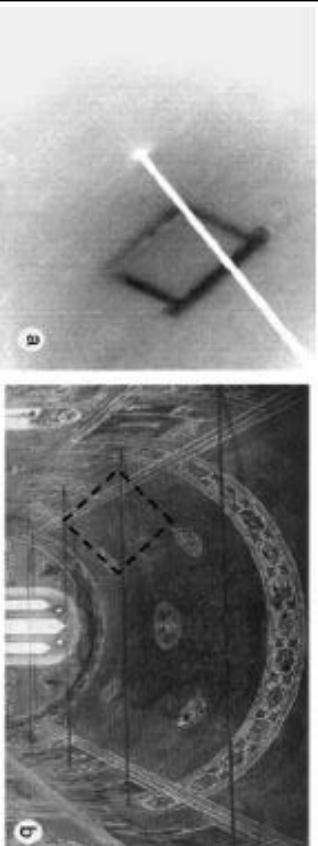
- riflessione e trasmissione onde elettromagnetiche ad alta frequenza, 100 MHz < $f < 1$ GHz
- Riflessione, attenuazione, portata (o penetrazione), velocità di propagazione
- Morfologia muratura, presenza discontinuità, efficacia interventi...

RADIOGRAFIE:

Assorbimento differenziato onde elettromagnetiche ad altissima f (raggi X)

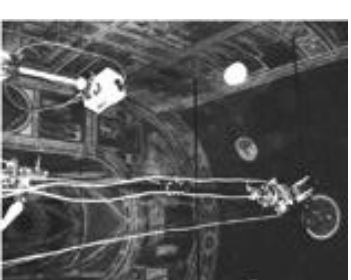
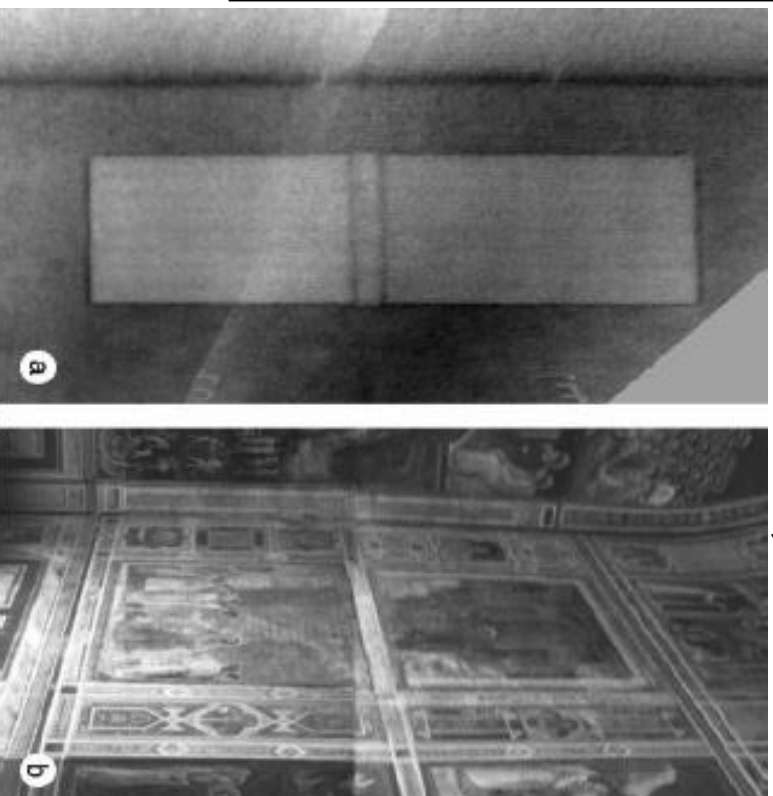
- Rappresentazione visiva, fotografica o grafica dell' emissione naturale o della riflessione delle radiazioni che un corpo emette nel campo dell' infrarosso ($T < 800^{\circ} \text{ K}$) durante un transitorio termico
- Immagini in bianco e nero o in falsi colori; sfumature sono legate alla temperatura ed alle proprietà superficiali e sub-superficiali degli oggetti esaminati, permettono di individuare disomogeneità, fronti d'umidità, rifacimenti, distacchi e sollevamenti di intonaci, tracce di impianti, etc. Profondità d'indagine, di qualche centimetro

(Grinzato et al., 2002)

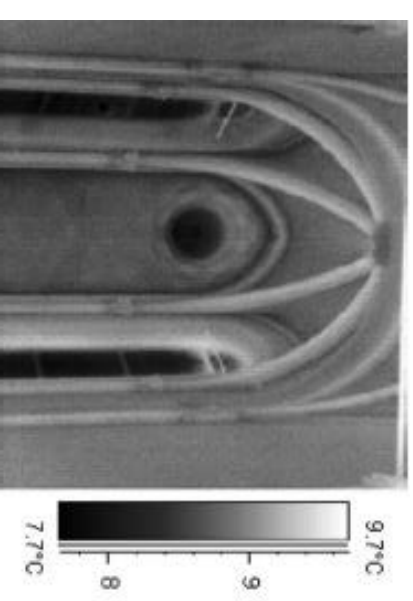


Presenza di un' apertura tamponata e nascosta sotto l' affresco della volta

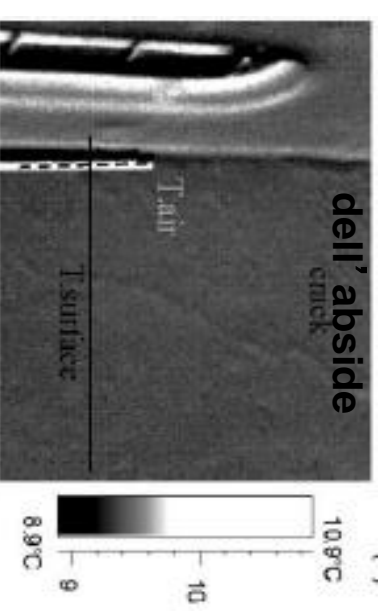
FONTE: Grinzato et al., 2002



Telecamera con rivelatore all'infrarosso (IR), monitor, computer per elaborazione immagini.



Variazioni di temperatura nei vari elementi



Fessurazione

Struttura nascosta di sostegno dell' affresco

INDAGINI MAGNETOMETRICHE



Localizzazione di materiali metallici dall'analisi delle anomalie di un campo magnetico generato da una sonda (pacometro) trascinata sulla superficie muraria

INDAGINI SCLEROMETRICHE



Rimbalzo di una massa battente lasciata cadere sulla superficie muraria

ID prova	SM1	SM2	SM3	SM4	SM5	SM6
	18	16	16	17	20	23
	16	12	16	14	21	29
	22	42	44	42	15	34
	18	14	12	17	15	24
	19	20	17	18	16	30
	44	13	24	18	20	30
	24	18	19	15	16	35
	20	12	16	16	19	28
	18	20	14	16	15	22
	16	12	16	16	18	28
	22	12	14	14	24	39
	28	18	18	48	22	28
Media	19	15	16	16	18	29
Totale rimbalzi	12	12	12	12	12	12
Resistenza a compressione [MPa]	3	1	2	2	3	13

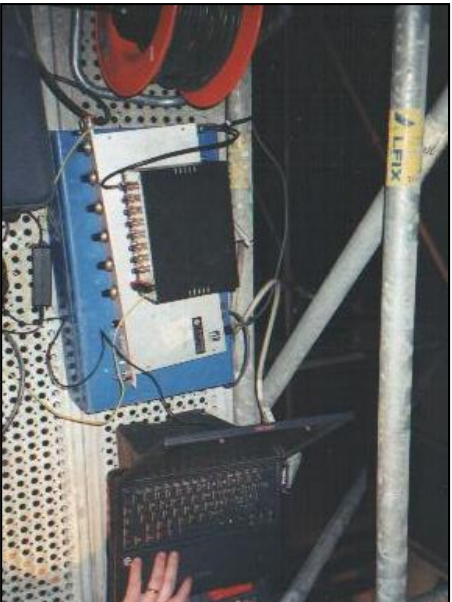
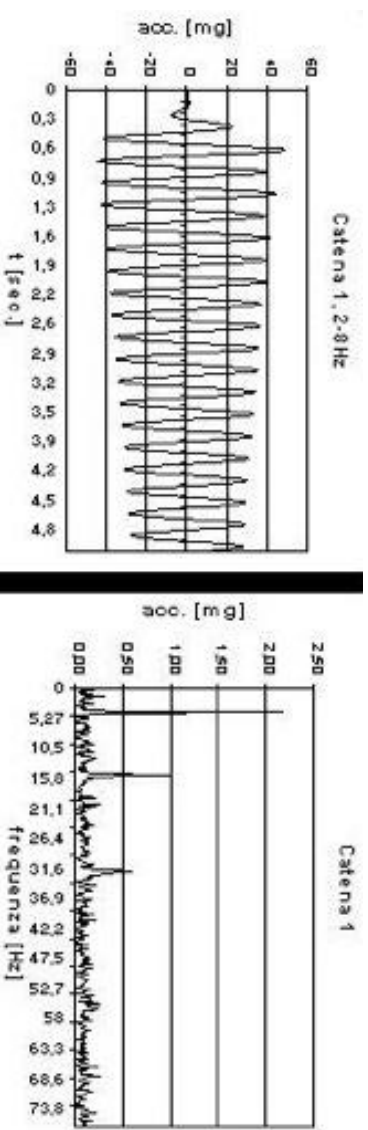


Indice di durezza superficiale della muratura. Resistenza se esiste un data-base per la calibrazione dei valori
Valutazioni sull'omogeneità e mappature dei distacchi delle murature

PROVE DINAMICHE SU CATENE

Individuazione prima
frequenza propria di
vibrazione della catena.
Calcolo tensione dalla
teoria dei fili tesi

$$T = (f * \lambda)^2 * \mu$$



Caten a	Sezione	peso specifico	lunghezz a libera	frequenz a propria	Tiro
	mm	kg/m	m	Hz	kg
1	30 x 60	14,148	17	4,102	6879,93
2	30 x 60	14,148	17	3,906	6238,17
3	30 x 60	14,148	17	3,125	3992,94
4	30 x 60	14,148	17	4,102	6879,93
5	30 x 60	14,148	17	3,516	5054,64

Determinazione sperimentale del tiro in catene e tiranti metallici

**INDAGINI SU CLS
ACCIAIO - FIBRE**

Prove distruttive

prelievo in sito
e prove in
laboratorio

- compressione su provini cls
- trazione su barre di armatura
- trazione su provini di acciaio

**Prove debolmente
distruttive (MDT)**

- ispezioni dirette, endoscopie, microcarotaggi
- pull-out test
- pistola windsor
- perforazioni con trapano ed analisi delle polveri (carbonatazione, cloruri...)
- pull-off test
- shear test

**Prove non
distruttive (NDT)**

- prove ultrasoniche
- prove pacometriche
- prove sclerometriche
- prove sonreb
- prove dei potenziali di corrosione
- durometro
- termocamera
- prove acustiche stimulate
- georadar

PROVE SCLEROMETRICHE



- Lo sclerometro è costituito da un corpo cilindrico munito di un’asta che fuoriesce da un’estremità dell’involucro ed è caricata da una molla. Una massa interna, guidata da una molla, colpisce la ghiera fissata rigidamente all’asta, che a sua volta, è a contatto della superficie in prova. La massa dopo aver battuto sull’asta, rimbalza ad una certa altezza ed è mostrata da un indice posto su una scala graduata. L’altezza di rimbalzo risulta proporzionale alla durezza superficiale del calcestruzzo.

Test n.	S1	S1-T	S2
1° rimbalzo	46	26	29
2° rimbalzo	46	25	29
3° rimbalzo	45	28	37
4° rimbalzo	33	30	41
5° rimbalzo	31	29	33
6° rimbalzo	29	29	36
7° rimbalzo	31	26	43
8° rimbalzo	31	31	32
9° rimbalzo	29	29	34
10° rimbalzo	33	31	28
11° rimbalzo	35	29	29
12° rimbalzo	41	29	36
media	36	29	34
R _{sk} [N/mm ²]	30	21	30



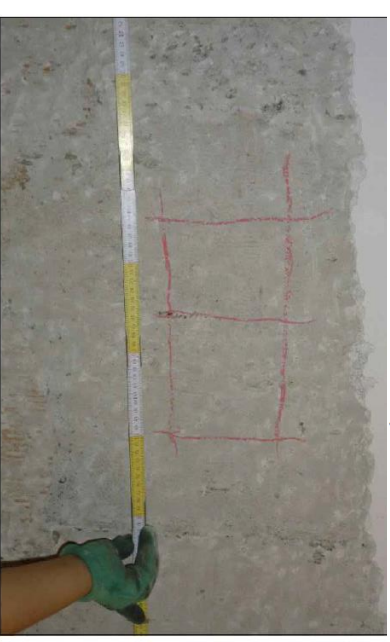
PROVE MEDIANTE PACOMETRO



P47a	
20	9mm/ ϕ -mm
20	9mm/ ϕ -mm
	11mm/ ϕ -mm
	18mm/ ϕ -mm
	6mm/ ϕ -mm
	7mm/ ϕ -mm
	5mm/ ϕ -mm
5	11
8	15
	45

Technical drawing of a rectangular plate. The drawing shows a top view and a side view. The top view is a rectangle with a width of 15 mm and a height of 10 mm. The side view is a rectangle with a width of 15 mm and a height of 13 mm. The dimensions are labeled with tolerances: 15 mm/±0.1 mm, 10 mm/±0.1 mm, and 13 mm/±0.1 mm. The drawing is labeled P47b.

LEGENDA: 30 mm/30 mm = copriferro/Ø armatura

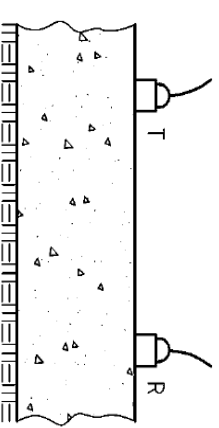
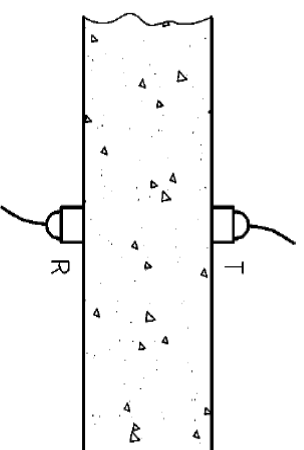


- Il pacometro rientra nei metodi di prova magnetici, in quanto sfrutta le proprietà magnetiche del ferro per la localizzazione delle armature. La prova, completamente non distruttiva, consiste nel passaggio di una sonda sulla superficie della struttura. I dati ricavati vengono elaborati e visualizzati su di un display e/o salvati nella memoria dell'unità ricevente

PROVE ULTRASONICHE



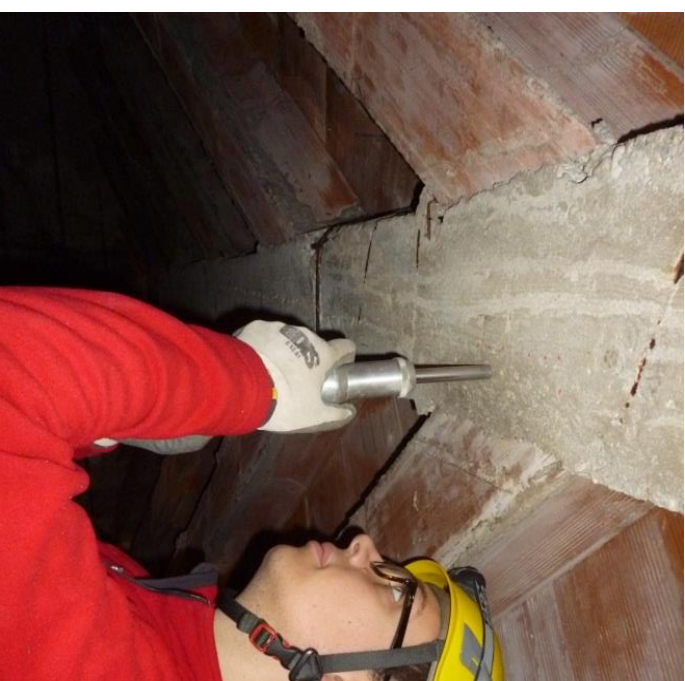
- Le prove ultrasoniche basano la loro capacità di stima della resistenza del calcestruzzo sulla velocità di propagazione delle onde ultrasoniche nel mezzo stesso, essendo tale velocità strettamente correlata con il modulo elastico del calcestruzzo, a sua volta correlato con la resistenza a compressione.
- La prova ultrasonica ha, perciò, come scopo principale la determinazione del tempo di propagazione di un impulso di vibrazione meccanica nel calcestruzzo fra una o più coppie di punti di rilievo. Misurando il tempo di attraversamento dell'impulso e lo spessore del mezzo posto tra le due sonde dell'apparecchio si calcola la velocità virtuale o apparente di propagazione degli impulsi e da essa, preliminarmente, si ricavano informazioni sull'omogeneità del calcestruzzo.



c)

PROVE SON-REB

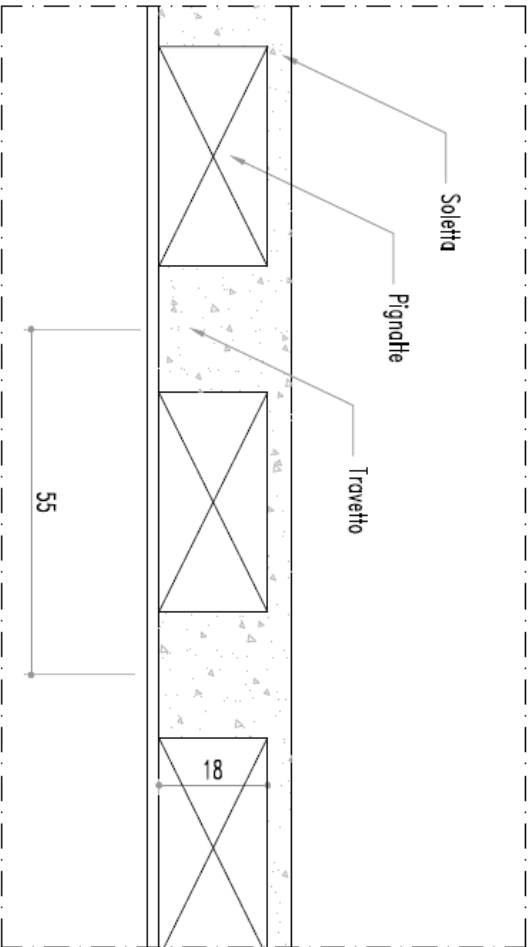
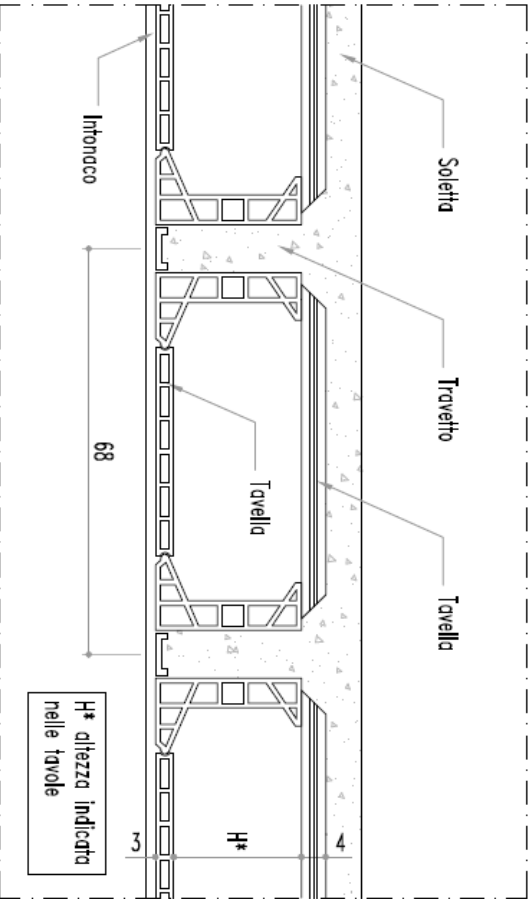
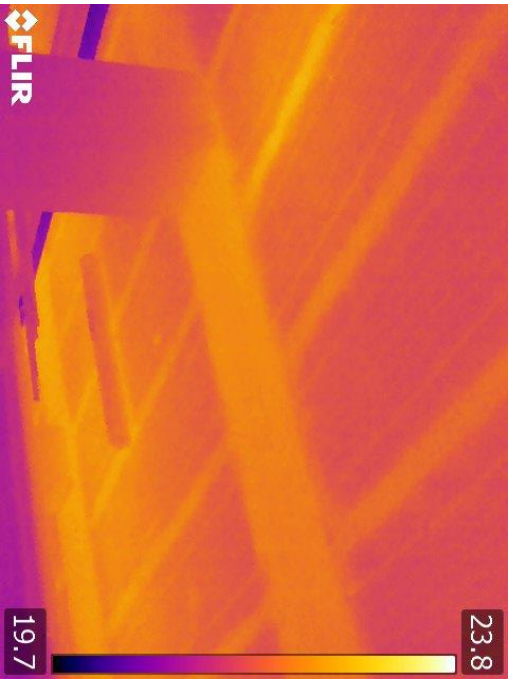
- Il metodo SONREB si basa sulla combinazione dei risultati ottenuti, nelle stesse zone di prova, con prove sclerometriche ed ultrasoniche, correlando l'indice di rimbalzo (REBound) con la velocità delle onde ultrasoniche (SONic), con la resistenza a compressione del calcestruzzo, attraverso una opportuna calibrazione della relazione che lega queste tre grandezze, effettuata mediante regressione statistica dei valori sperimentali.
- La validità del metodo SONREB deriva dalla compensazione delle imprecisioni dei due metodi non distruttivi utilizzati. Infatti, si è notato che il contenuto di umidità fa sottostimare l'indice sclerometrico e sovrastimare la velocità ultrasonica, e che, all'aumentare dell'età del calcestruzzo, l'indice sclerometrico aumenta mentre la velocità ultrasonica diminuisce.
- Eseguendo delle prove di compressione su campioni prelevati negli stessi punti in cui sono state seguite le prove non distruttive, si determinano i valori da assegnare ai tre coefficienti di correlazione tra la resistenza, l'indice di rimbalzo e la velocità ultrasonica.



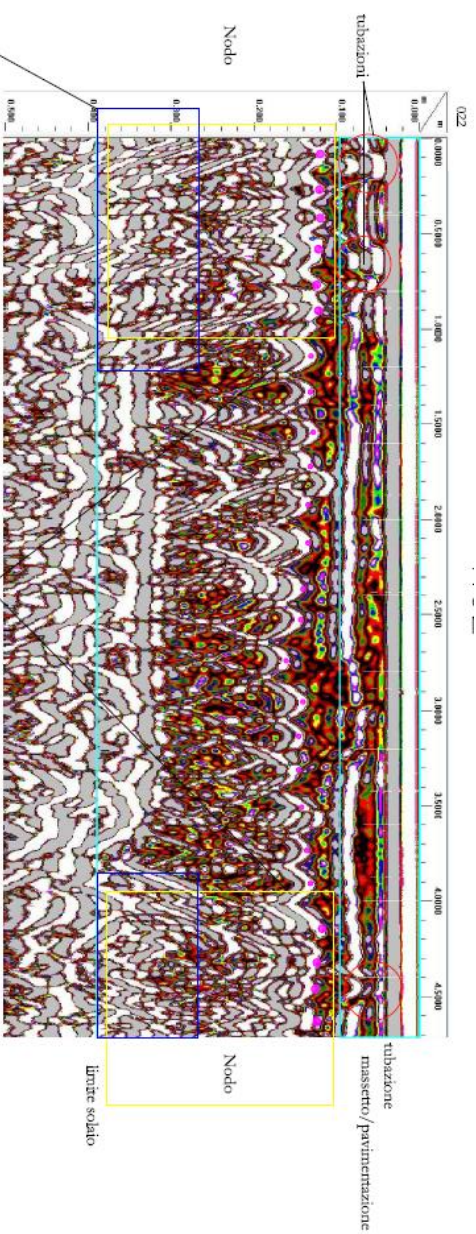
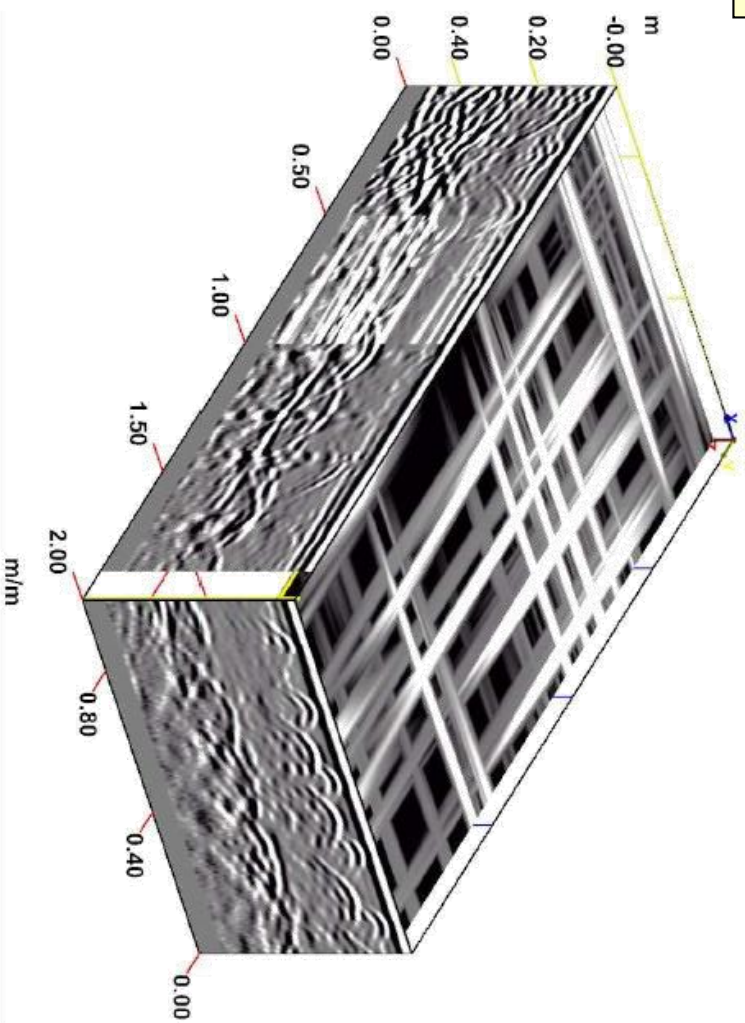
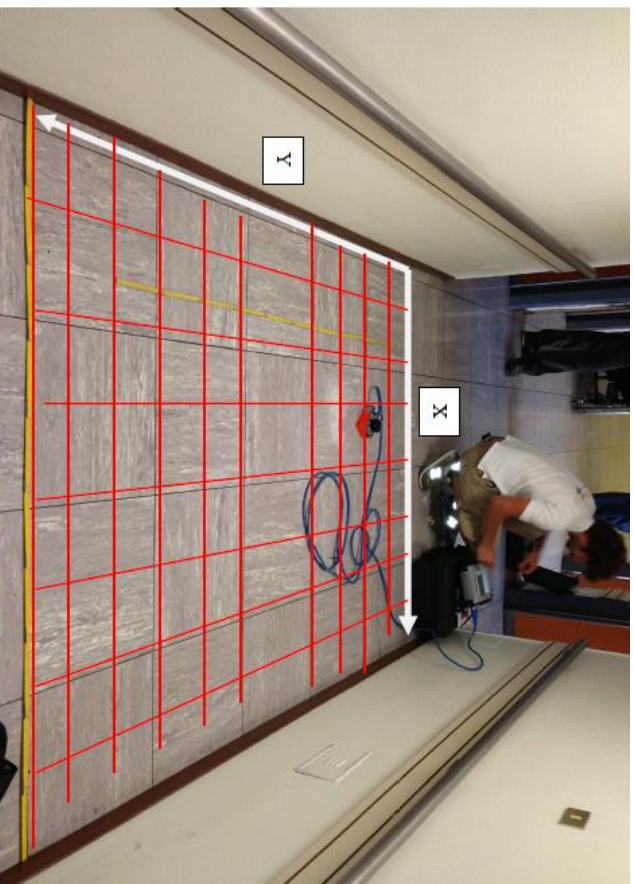
POTENZIALI DI CORROSIONE

Le misurazioni del potenziale aiutano a rilevare la corrosione delle armature. La corrosione dell'acciaio all'interno del calcestruzzo è dovuta a un processo elettrochimico. Si può misurare il potenziale elettrico sulla superficie del calcestruzzo mediante l'uso di un elettrodo, noto come «semi cella», insieme a un voltmetro ad alta impedenza. Lo strumento per l'analisi della corrosione evidenzia l'attività di corrosione prima che la ruggine diventi visibile. La rilevazione precoce è fondamentale per prevenire danni strutturali

PROVE MEDIANTE TERMOCAMERA



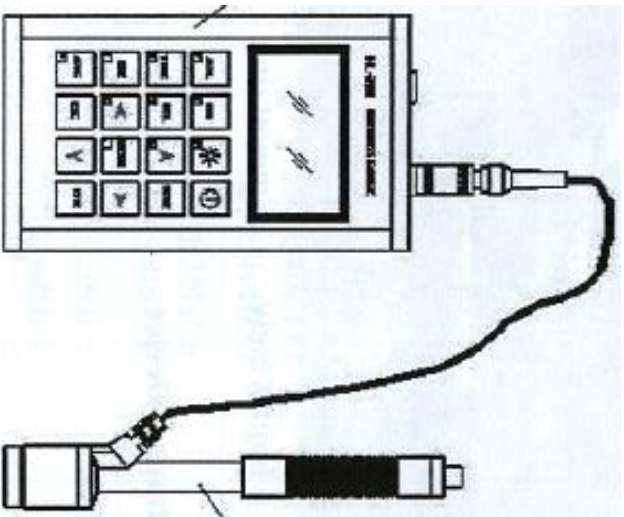
PROVE CON GEORADAR



Armonia estesa dovuta alla presenza di numerosi fien

Sfalte da 8mm con passo 20 cm (tratto centrale della trave)

PROVE MEDIANTE DUROMETRO



il valore di durezza viene derivato dalla perdita di energia di un corpo di impatto, detto dardo, dopo essere stato scagliato contro il provino ed essere, appunto rimbalzato. Il principio è molto simile a quello dello sclerometro (Schmidt hammer). Il valore di durezza viene considerato come espressione dell'energia persa dal dardo nell'impatto grazie alla deformazione plastica del provino: il dardo rimbalzerà più velocemente per corpi con maggiore durezza rispetto a corpi più morbidi.