

# PROVE PER LE STRUTTURE ESISTENTI IN MURATURA

Prof. Ing. Flora Faleschini  
Dipartimento Ingegneria  
Civile, Edile e Ambientale  
VMSSE 2023/2024



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

# STRUTTURE IN MURATURA: CARATTERIZZAZIONE MATERIALI

## Prove sulle malte

Attualmente non esistono prove standardizzate per la definizione della composizione, delle caratteristiche chimico-fisico e meccaniche di malte prelevate **da edifici esistenti**. Spesso è **molto difficile prelevare campioni di dimensioni sufficienti per l'esecuzione di prove meccaniche**; quindi, le uniche informazioni attendibili, riguardano la composizione della malta e lo stato di degrado.

Tra le prove fisiche, i cui risultati possono essere correlati a grandezze meccaniche, vi è la **prova penetrometrica**.

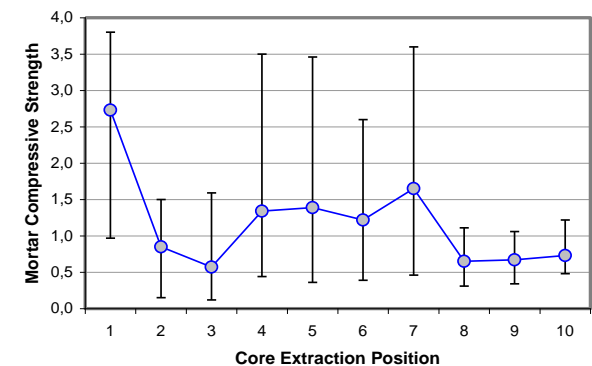
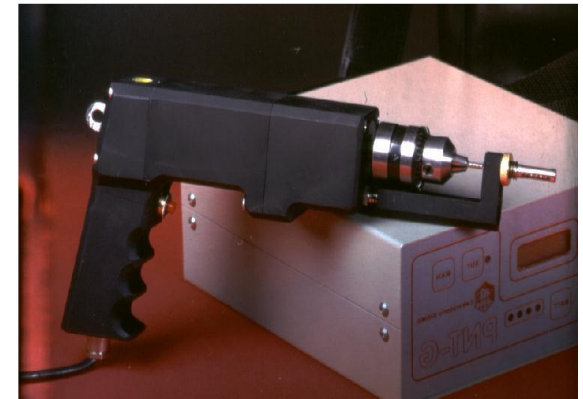
Le **analisi chimiche e petrografiche**, meno costose di altri tipi di prove, possono individuare il tipo di legante e di aggregato, il rapporto legante aggregato, il grado e l'estensione della carbonatazione, la presenza di reazioni chimiche e di sostanze di nuova formazione (reazioni pozzolaniche, reazioni tra aggregati e leganti, reazioni alcali-aggregati ecc.)

# STRUTTURE IN MURATURA: CARATTERIZZAZIONE MATERIALI

## Prove sulle malte: prova penetrometrica

Consiste nella **misurazione dell'energia spesa per praticare una cavità** in un giunto di malta con un normale processo di foratura realizzato mediante **trapano strumentato** (punte generalmente di 4-5 mm). Durante la prova è mantenuta costante la forza di foratura: dall'analisi statistica dei dati rilevati è possibile correlare la resistenza alla perforazione della malta con le sue caratteristiche meccaniche.

Prima di effettuare la prova è opportuno scegliere una zona di muratura piuttosto ampia, di dimensioni circa un metro per un metro e comunque tale da consentire l'individuazione di porzioni di malta sufficientemente omogenea e la realizzazione del numero di misure necessario ad una distanza opportuna: solitamente vengono eseguiti **15-30 fori** per ciascuna muratura di cui si vogliono stimare le caratteristiche meccaniche della malta.

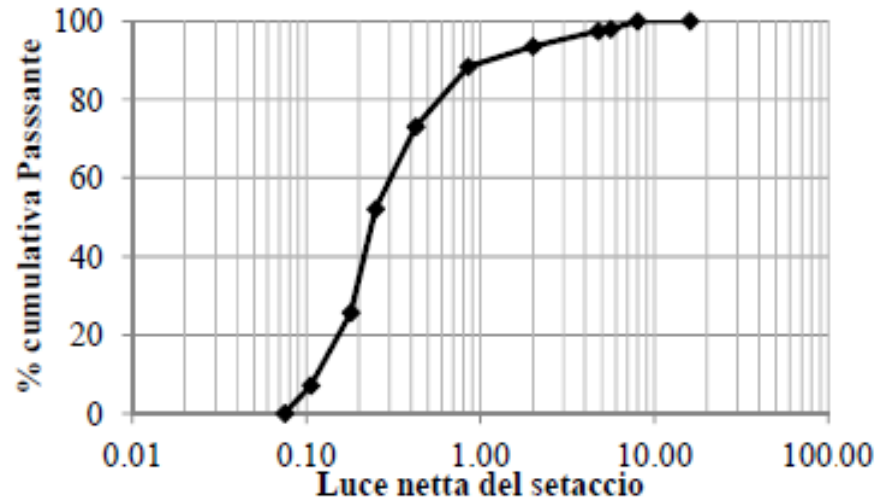


# STRUTTURE IN MURATURA: CARATTERIZZAZIONE MATERIALI

## Prove sulle malte: composizione e granulometria

La conoscenza della composizione di una malta anche se non esatta al 100% permette la **riproduzione di malte o miscele da iniezione con caratteristiche simili** a quelle originarie o comunque compatibili, da usare in eventuali operazioni di riparazione.

La granulometria e la distribuzione degli aggregati può essere misurata attraverso la **separazione degli aggregati stessi dal legante** (trattamenti termici o chimici o con metodi ottici).



# STRUTTURE IN MURATURA: CARATTERIZZAZIONE MATERIALI

## **Prove sulle malte: degrado**

Riconoscimento dei **Sali solubili** - Il riconoscimento dei sali può fornire indicazioni sulle cause di degrado ed accertare la loro presenza contribuisce a determinare lo stato di conservazione della muratura.

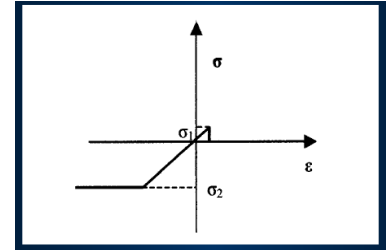
Le analisi chimiche sono rivolte a verificare la presenza di:

**Solfati.** Disciolti nei leganti, sono altamente dannosi perché fortemente solubili, quindi facilmente trasportabili nella muratura, e cristallizzano innescano il meccanismo di sfogliamento.

**Nitrati.** Derivano dalla decomposizione di sostanze organiche e indicano spesso la risalita di acqua inquinata nelle pareti.

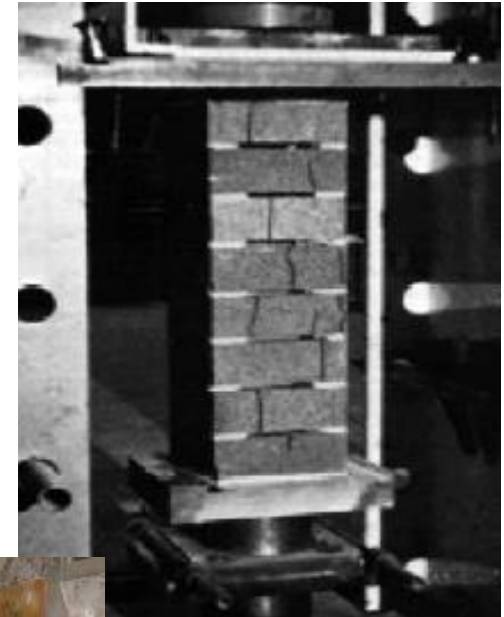
**Alogenuri.** Presenti nelle antiche murature sono legati a fenomeni di migrazione di Sali.

# STRUTTURE IN MURATURA: CARATTERIZZAZIONE MATERIALI



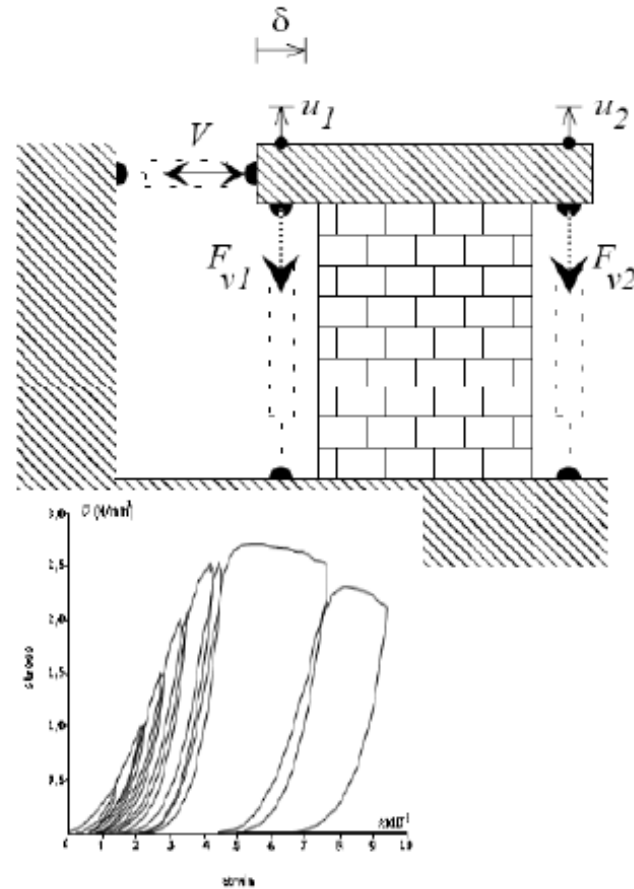
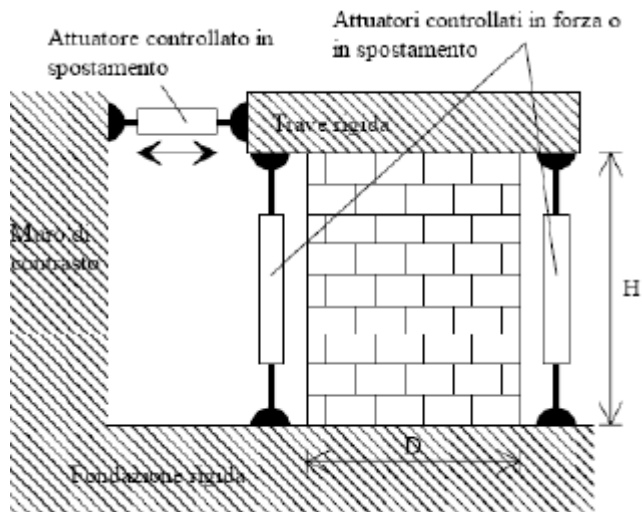
## Prove su pietre e mattoni

- Prove chimiche: per l'individuazione di solfati alcalini.
- Analisi ottiche e mineralogiche: osservazione ottiche (microscopio stereoscopico e SEM) e **analisi petrografiche** su sezione sottile.
- Prove di durabilità: con **cicli gelo/disgelo** e cristallizzazione salina.
- Prove meccaniche: prove **di compressione e trazione diretta**; prove di **durezza superficiale**;
- Prove fisiche: misura del peso specifico; misura **dell'assorbimento d'acqua** per immersione totale o per risalita capillare; diffrattometria a raggi X; porosimetria al mercurio; misura dei **coefficienti di espansione termica** e in acqua.



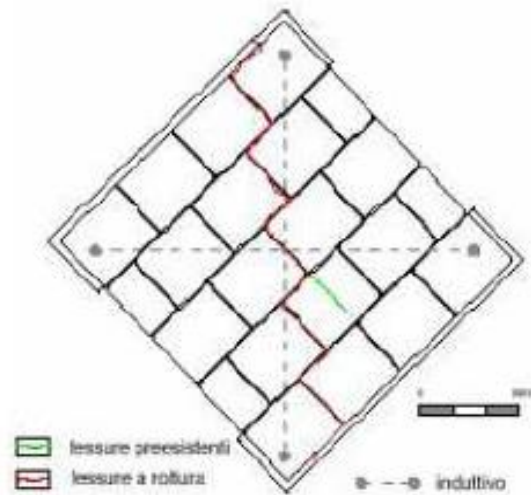
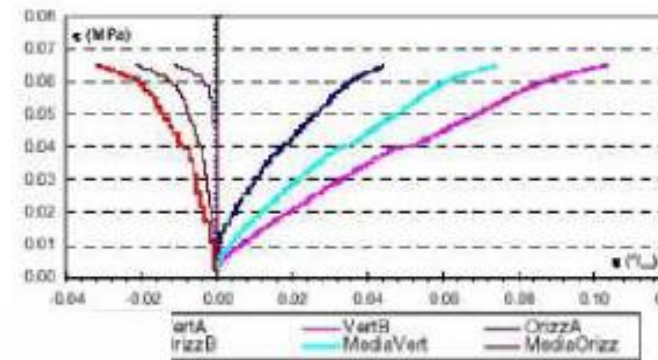
# STRUTTURE IN MURATURA: CARATTERIZZAZIONE MATERIALI

## Prove su pareti



# STRUTTURE IN MURATURA: CARATTERIZZAZIONE MATERIALI

Prove su pareti (compressione diagonale)





# STRUTTURE IN MURATURA: CARATTERIZZAZIONE MATERIALI

## **Prove in situ: distruttive**

Adottate sia per la **compressione** che per il **taglio**, vengono realizzate in sito **isolando il campione con dei tagli verticali** per eliminare il confinamento laterale ed applicando il carico attraverso una **struttura di contrasto**.

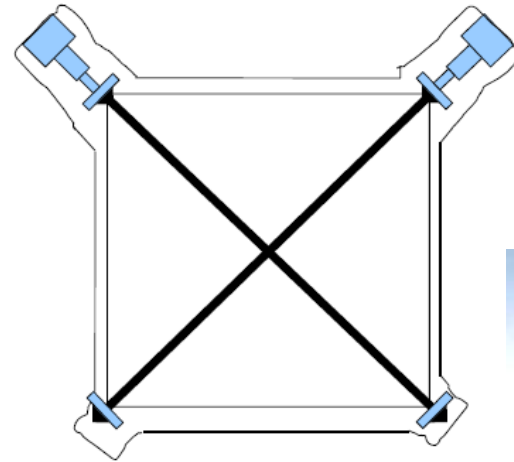
Per l'esecuzione delle prove distruttive a taglio secondo tale procedura, possono efficacemente utilizzarsi gli stipiti delle aperture come superficie sulle quali applicare l'attrezzatura di contrasto.



# STRUTTURE IN MURATURA: CARATTERIZZAZIONE MATERIALI

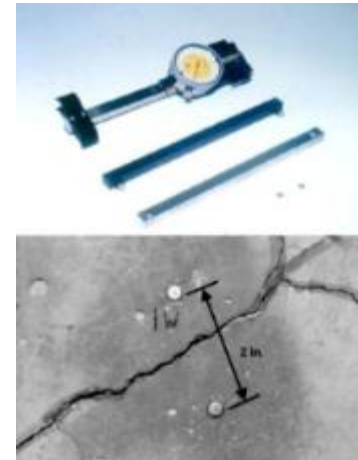
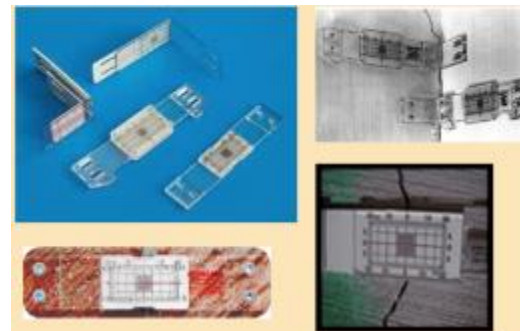
## Prove in situ: distruttive

Isolamento di pannelli di forma circa quadrata per eseguire prove di compressione diagonale



## Prove in situ: monitoraggio quadri fessurativi

quadro fessurativo, le ampiezze di fessura e la loro evoluzione può essere monitorata nel tempo tramite l'utilizzo di appositi strumenti (estensimetri) che registrano lo spostamento relativo di due punti, e che vengono posti a cavallo della fessura stessa.



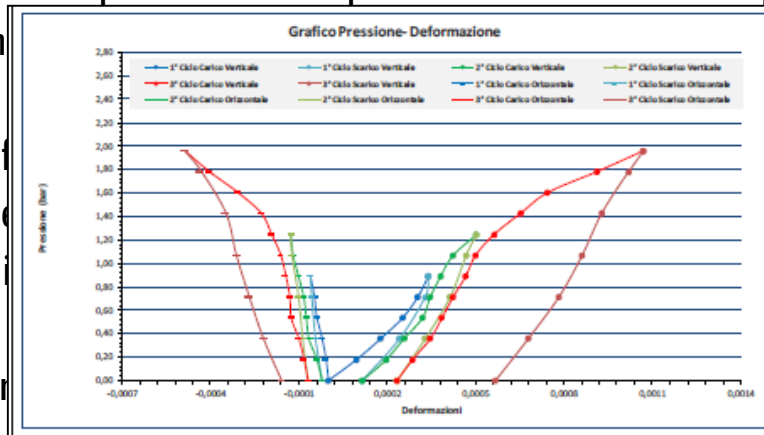
# STRUTTURE IN MURATURA: CARATTERIZZAZIONE MATERIALI

## Prove in situ: semi-disruttive (martinetto piatto singolo)

Isolamento di una striscia di muro con due tagli verticali e messa in carico mediante **martinetto nella zona centrale della parete** secondo le due diagonali dei due semipannelli individuati dalla retta di applicazione del carico.

Lo schema della prova è del tipo “beam test” e corrisponde all'applicazione di due semipannelli.

La prova è effettuata nella parete per Nei casi in cui viene fornito prova di compr



due  
ente  
sione  
della



DOPPIO

# STRUTTURE IN MURATURA: CARATTERIZZAZIONE MATERIALI

## Prove in situ: semi-disruttive (martinetto piatto singolo)

1. Taglio della muratura ed inserimento martinetto caratterizzato da  $k_A$  e  $k_M$ .
2. Si applica una prima pressione pari a circa il (20 ÷ 25) % della pressione stimata per raggiungere il presunto valore di sforzo locale e poi si scarica.
3. Cicli di carico: La pressione si applica da zero ad incrementi di circa 1/8 della pressione attesa, oppure ad incrementi regolari pari a (0.5 ÷ 1.0) bar, e si memorizza lo spostamento misurato.
4. Conclusione prova: in seguito ad incremento di pressione nel martinetto, si ottiene il ripristino delle misurazioni iniziali. La corrispondente pressione letta al martinetto ( $P$ ) è la tensione locale nella muratura ( $f_m$ ), a meno delle costanti moltiplicative  $k_A$  e  $k_M$ .
5. Scarico e ripristino del taglio con una malta appropriata che non ritiri.

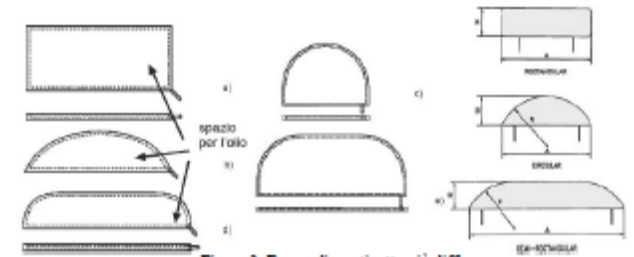


Figura 3. Forme di martinetto più diffuse

$$f_m = p \cdot k_M \cdot k_A$$

$P$  = pressione del martinetto che permette di ristabilire la distanza iniziale tra le basi;  
 $k_A$  = costante adimensionale che rappresenta il rapporto tra l'area del martinetto e l'area del taglio eseguito nella muratura;  
 $k_M$  = costante adimensionale dipendente dalla geometria e dalla rigidità del martinetto.

# STRUTTURE IN MURATURA: CARATTERIZZAZIONE MATERIALI

## **Prove in situ: semi-disruttive (martinetto piatto doppio)**

1. 2 tagli allineati verticalmente e distanti non più di 1.5 volte la lunghezza dei martinetti I tagli devono essere paralleli, allineati in verticale e separati almeno da 5 corsi di elementi componenti la muratura nel caso le altezze degli stessi siano minori di 100 mm (murature in laterizi) o 3 corsi per altezze maggiori (murature in pietra).
2. Cicli di carico: Dopo aver preso le misure di partenza, la pressione è incrementata nei martinetti a intervalli pari a circa il 10% della pressione massima attesa e le deformazioni sono misurate dopo una breve pausa di assestamento ad ogni passo.
3. La tensione locale nella muratura si calcola come nel caso della prova di martinetto singolo.
4. A conclusione della prova (calo significativo del rapporto  $p/\epsilon$ ) si scarica la pressione e si rimuovono delicatamente i martinetti, chiudendo i tagli con una malta appropriata che non ritiri.

# STRUTTURE IN MURATURA: CARATTERIZZAZIONE MATERIALI

## **Prove in situ: non distruttive (endoscopia)**

L'indagine endoscopica consente **l'ispezione visiva diretta di cavità**, o parti altrimenti inaccessibili della muratura, **all'interno dello spessore murario**. Mediante l'inserimento di una piccola sonda endoscopica in fori di almeno 20 mm di diametro si può studiare la superficie del foro per cercare di ricostruire la sezione muraria, inclusa la tipologia di materiali presenti e la presenza di larghi vuoti. I risultati del controllo visivo possono essere registrati mediante un sistema di ripresa video, su file immagine o video.

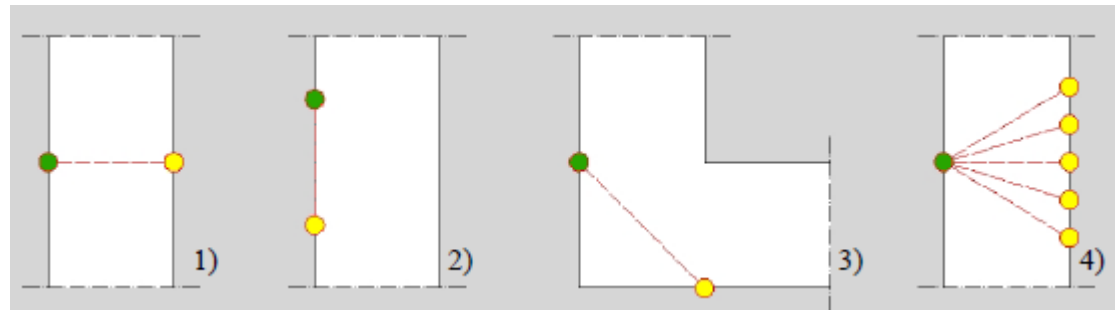
L'esecuzione prevede l'utilizzo di apparecchiature flessibili o rigide, articolate o non, con illuminazione a luce calda o a fibre ottiche. A seconda del tipo di apparecchiatura può cambiare la profondità massima di ispezione, il diametro minimo del foro d'ispezione (a seconda dello spessore della sonda) ed il diametro massimo (fori più grandi richiedono fonti di illuminazione più potenti per dare immagini con buona risoluzione e visibilità).

# STRUTTURE IN MURATURA: CARATTERIZZAZIONE MATERIALI

## Prove in situ: non distruttive (prove soniche)

Per le strutture in muratura, le prove soniche possono essere svolte in modalità:

1. Diretta (o in trasparenza) ;
2. Indiretta (o superficiale) ;
3. Semidiretta (o radiale) ;
4. Tomografica.



La scelta di una metodologia di acquisizione rispetto ad un'altra dipende da vari fattori, tra cui il tipo di muratura e l'accessibilità su vari lati della stessa.

# STRUTTURE IN MURATURA: CARATTERIZZAZIONE MATERIALI

## **Prove in situ: non distruttive (tomografia sonora)**

Metodologia di prova che utilizza **onde elastiche** con **frequenze variabili tra qualche kHz e qualche decina di kHz** (campo sonico). La tomografia permette di ricavare l'immagine dell'andamento della velocità di propagazione su sezioni piane dell'oggetto indagato. È un metodo più avanzato del tradizionale basato sulle onde ultrasoniche, e permette di ottenere un valore medio di velocità su tutto il percorso di misura.

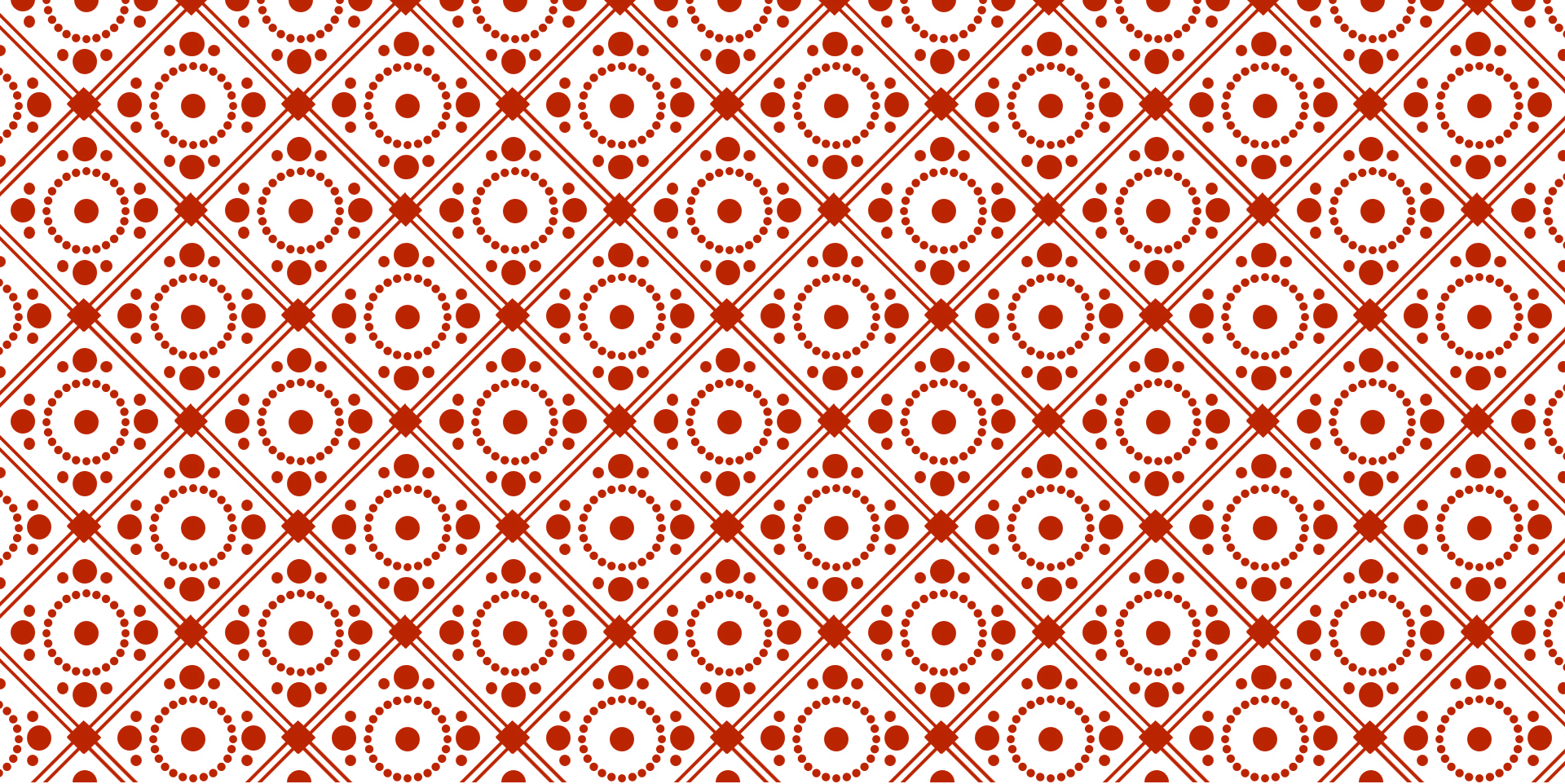
### Strumentazione composta da:

- generatore di onde elastiche: sorgente a percussione (martelletto strumentato) o trasduttori elettrodinamici;
- accelerometro per la ricezione del segnale;
- centralina di acquisizione.

### Esempio di esecuzione della prova:

1. Individuazione punti fissi e calcolo mutue distanze;
2. Emissione delle onde sonore;
3. Registrazione dei valori;
4. Elaborazione dei risultati mediante idoneo software, con produzione di mappe della distribuzione della velocità di propagazione delle onde elastiche.





# ESEMPIO DI PROGETTO DI CAMPAGNA DI INDAGINE

Prof. Ing. Flora Faleschini  
Ing. Paolo Zampieri  
Dipartimento Ingegneria  
Civile, Edile e Ambientale  
VMSSE 2023/2024



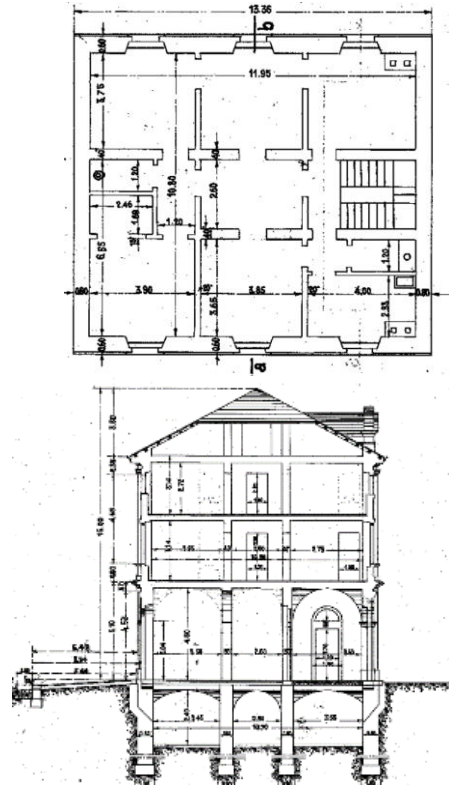
UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

## ESEMPIO: Raggiungimento LC2 in un Edificio in Muratura

### *Analisi storico-critica*

La ricerca deve essere indirizzata all'acquisizione della documentazione progettuale storica riguardante l'edificio oggetto di verifica, quali:

- tavole progetto architettonico;
- tavole progetto strutturale;
- documenti di contabilità (libretti delle misure, registri di contabilità);
- documentazione relativa a collaudo statico;
- documentazione relativa a successivi interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria che hanno interessato la parte strutturale dell'edificio



## ESEMPIO: Raggiungimento LC2 in un Edificio in Muratura

### *Rilievo geometrico-strutturale*

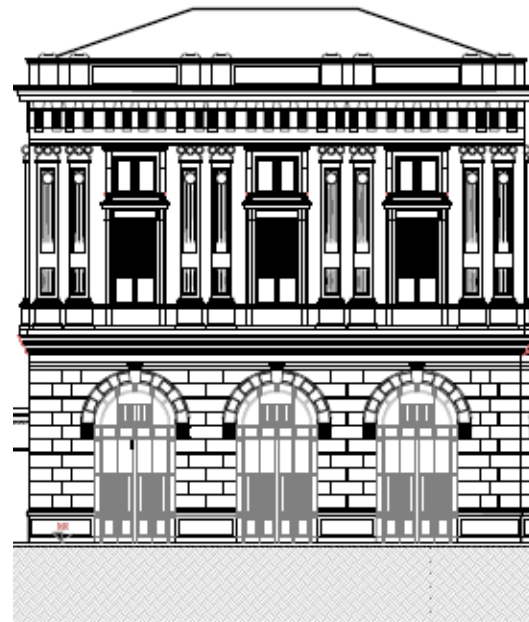
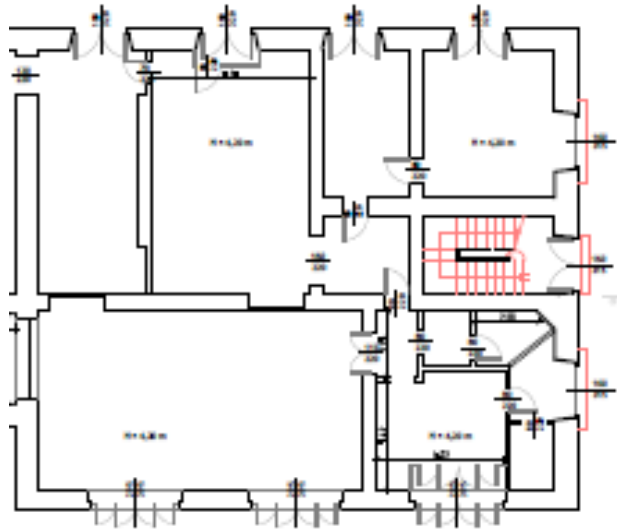
#### **OBIETTIVO:**

MESSA A PUNTO DI UN MODELLO DI CALCOLO ACCURATO  
DELL'EDIFICIO

- Il rilievo dovrà essere riferito sia alla geometria complessiva dell'edificio che a quella degli elementi costruttivi, comprendendo l'interazione con eventuali strutture in aderenza.
- Il rilievo deve individuare l'organismo resistente della costruzione, con particolare riferimento all'individuazione della geometria esterna della struttura e dei suoi dettagli costruttivi, tenendo anche presente la qualità e lo stato di conservazione dei materiali e degli elementi costruttivi.
- Il rilievo dovrà riguardare, altresì, i dissesti eventualmente presenti, con particolare riferimento all'individuazione dei quadri fessurativi e dei meccanismi di danno.

## ESEMPIO: Raggiungimento LC2 in un Edificio in Muratura

*Rilievo geometrico-strutturale*

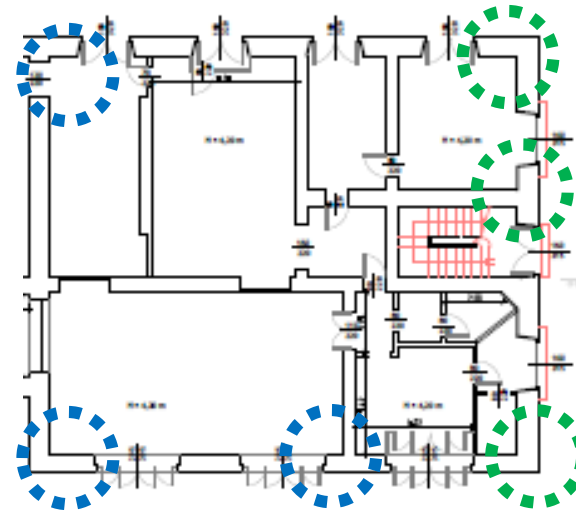


## ESEMPIO: Raggiungimento LC2 in un Edificio in Muratura

### Rilievo geometrico-strutturale

Il rilievo dei dettagli costruttivi viene effettuato tramite:

- *saggi a vista sulle murature;*
- *saggi a vista sui solai;*
- *microcarotaggi su murature e solai;*
- *videoendoscopie su murature e solai;*
- *saggi in fondazione.*



**Il rilievo dei dettagli costruttivi è esteso in modo sistematico a tutto l'edificio.**

## ESEMPIO: Raggiungimento LC2 in un Edificio in Muratura

### *Rilievo geometrico-strutturale*

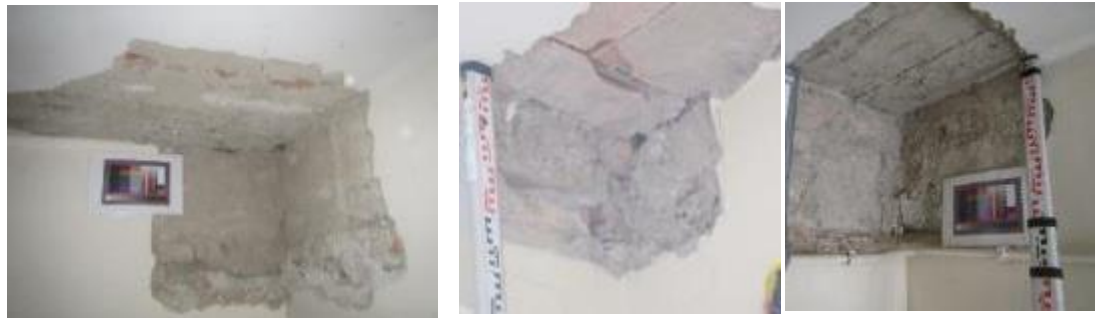
#### **SAGGI A VISTA SULLA MURATURA**

Individuano tipologia di muratura  
esistente e ammassamento tra  
pareti ortogonali



#### **SAGGI A VISTA SUI SOLAI:**

Individuano tipologia di solaio  
esistente, orditura, presenza di  
cordolo, grado di ammassamento  
rispetto alle murature sottostanti



## ESEMPIO: Raggiungimento LC2 in un Edificio in Muratura

### *Rilievo geometrico-strutturale*

#### **MICROCAROTAGGI SU MURATURE E SOLAI**

Individuano il numero di paramenti verticali di cui il pannello murario è costituito e l'eventuale presenza di riempimento a sacco.



#### **VIDEOENDOSCOPIE SU MURATURE E SOLAI**

Individuano lo spessore strutturale del solaio (carico permanente strutturale) e lo spessore del materiale costituente lo strato di finitura (massetti e pavimenti, carico permanente non strutturale)

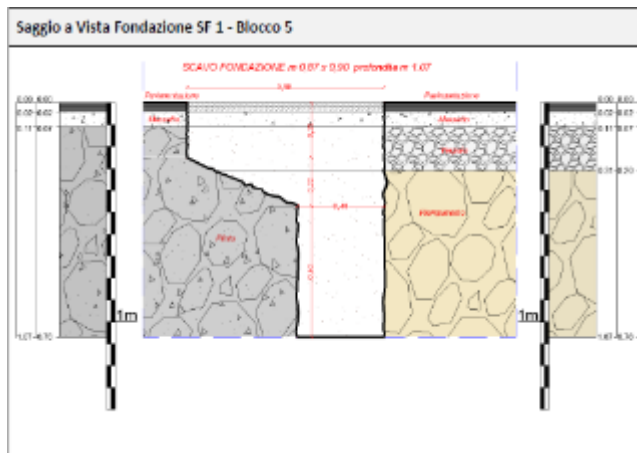


## ESEMPIO: Raggiungimento LC2 in un Edificio in Muratura

### *Rilievo geometrico-strutturale*

#### **SAGGI IN FONDAZIONE:**

Individuano la tipologia, la geometria e la profondità del piano di posa



**Ricostruzione grafica del plinto di  
fondazione presente alla base di un pilastro  
in c.a.**



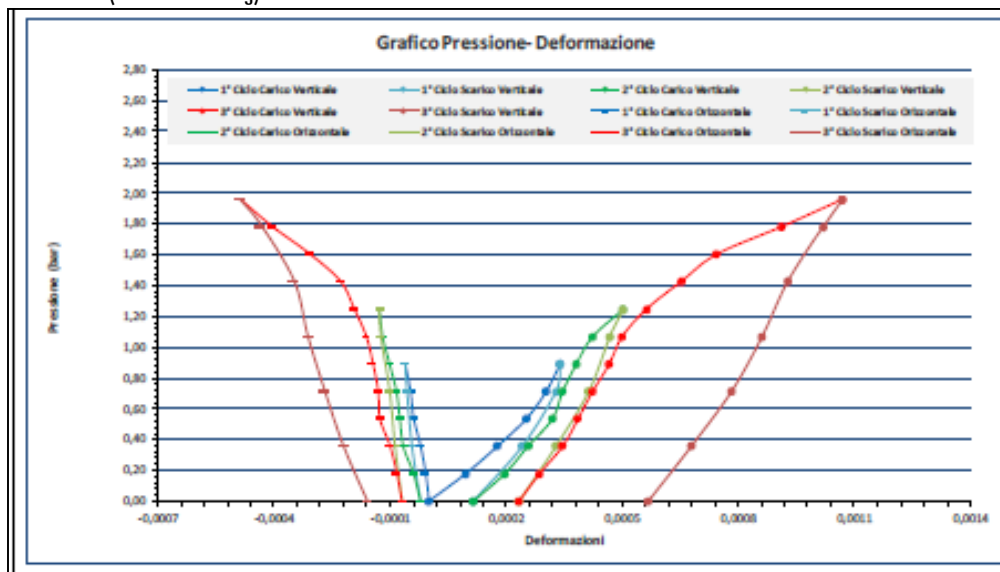
## ESEMPIO: Raggiungimento LC2 in un Edificio in Muratura

### Proprietà dei Materiali

Dovranno eseguirsi prove su ogni tipologia di muratura rilevata dal rilievo geometrico-strutturale:

#### PROVE DI MARTINETTO PIATTO DOPPIO:

Stimano: Lo stato di sollecitazione (tensione di esercizio), la resistenza a compressione (tensione di rottura) e le caratteristiche di elasticità (modulo di Young) della muratura



# ESEMPIO: Raggiungimento LC2 in un Edificio in Muratura

## Proprietà dei Materiali

Dovranno eseguirsi prove su ogni tipologia di muratura :

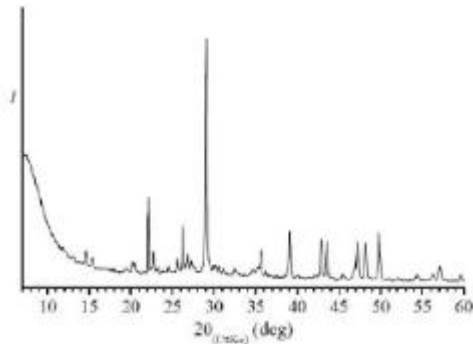
### PROVA DI CARATTERIZZAZIONE CHIMICO-FISICO DELLA MALTA

Attraverso analisi diffrattometrica, studio petrografico e analisi granulometrica si riesce a dare un giudizio sulla qualità della malta e a classificarla (idraulica, pozzolanica, bastarda, cementizia)



Analisi diffrattometrica ai raggi X (XRD)

Materiali analizzati	Fasi cristalline maggiori	Fasi cristalline minori	Fasi cristalline in tracce
Tot. amaro	Calcite	Quarzo	Cristallo di Gesso, cristallo di



Descrizione mineralogico-petrografica

TESSITURA	COMPONENTI	ANALISI MODALE
Matrice	Composizione carbonatica, struttura a placche e tessitura zonata	45%
Porosità da aggregati	Definita da vuoti di forma regolare	5%
Porosità da legante	Definita da vuoti di forma regolare	5%
Porosità da sottile aggregato/legante	Non definita	--
Aggregati	Quarzo	85%
	Biotite	2%
	Feldspati	2%
	Altri	1%
	--	--

Determinazioni percentuali in base a sfera unita (SHVETSOV M.S. - 1954)

Descrizione microscopica degli aggregati

TESSITURA	COMPONENTI	ANALISI MODALE
Granulometria	Ritroso (<math>0,25\mu m</math>)	3%
	Atenaceo (<math>0,25\mu m - 2,0\mu m</math>)	95%
	Coniugato fine (<math>2,0\mu m - 4,0\mu m</math>)	--
	Coniugato alco grossolano (><math>4,0\mu m</math>)	--
Forma	Arrotondate	
Sfericità	Alta	
Classazione	Scarsa. Non si notano orientazioni particolari	Completata nel petro

Determinazioni percentuali in base a sfera unita (SHVETSOV M.S. - 1954)



Caratterizzazione del materiale

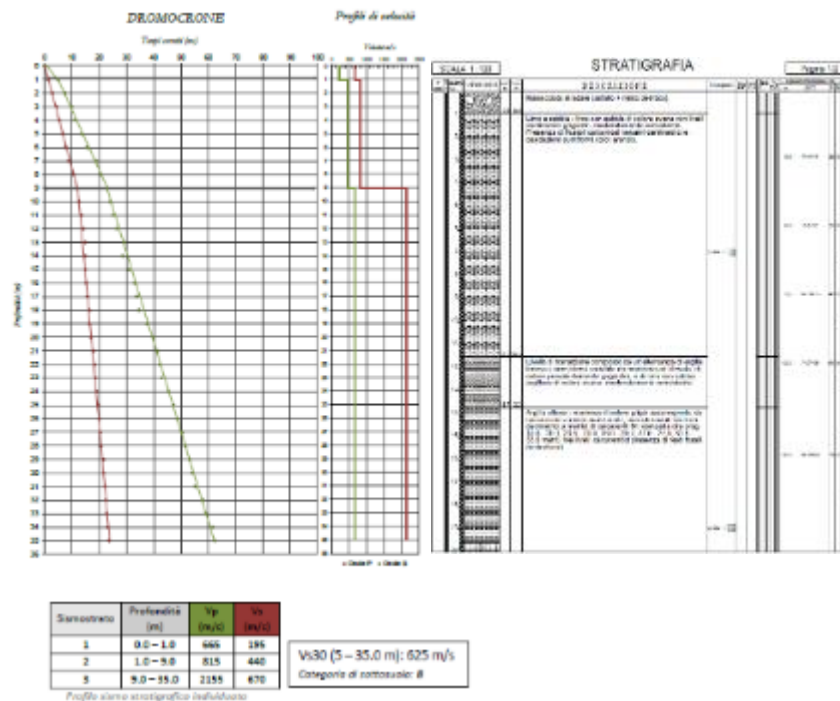
Classificazione dell'impasto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Malta di colore grigio, tenera, realizzata con sabbia carbonatica.</li> <li>• Granulometria arenacea.</li> <li>• Rapporto aggregato legante 1/1</li> <li>• Porosità totale media (vuoti di forma regolare).</li> <li>• Buono stato di conservazione.</li> </ul>	
Attribuzione classe (D.M. 140/09)	M 2,5	

# ESEMPIO: Raggiungimento LC2 in un Edificio in Muratura

## Sondaggi geognostici

Le indagini geognostiche sono finalizzate al riconoscimento morfologico del sistema di fondazione, alla determinazione delle caratteristiche geotecniche del terreno, e alla determinazione del profilo della velocità di propagazione delle onde di taglio utili all'attribuzione della categoria di sottosuolo (necessaria per la determinazione dell'azione sismica attesa per il sito di interesse). Le indagini consistono in:

- *carotaggio continuo a 30 m;*
- *prove SPT in foro di sondaggio;*
- *prelievo di campioni indisturbati;*
- *determinazione dei parametri fisici del terreno (analisi granulometrica, limiti di Atterberg, ecc.);*
- *prove di taglio diretto;*
- *prove triassiali consolidate non drenate (CU);*
- *prova sismica down-hole.*



## ESEMPIO: ELABORATI GRAFICI E COMPUTO DEI PREZZI

- [ELEVAZIONI PPRIMO.pdf](#)
- [PIANTASOLAIO1.pdf](#)
- [COMPUTOCONPREZZI.PDF](#)