

### 3. INDAGINI PER LA CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI

*L. Binda<sup>1</sup>, D. Penazzi<sup>1</sup>, G. Mirabella Roberti<sup>1</sup>, G. Baronio<sup>1</sup>, C. Tedeschi<sup>1</sup>, C. Tiraboschi<sup>1</sup>*

#### 3.1 Introduzione

La conoscenza della morfologia della sezione muraria è un dato essenziale sia per lo studio della risposta della muratura alle forze verticali ed orizzontali sia per la scelta di specifiche tecniche di consolidamento. Infatti è necessario sapere innanzitutto se la muratura è in pietra, mattoni o mista e se è costituita da uno o più paramenti; in questo ultimo caso è importante conoscere il loro spessore e le loro connessioni, la forma e dimensione di pietre e mattoni, lo spessore dei giunti di malta. Infatti tutti questi parametri influiscono sul comportamento locale e/o globale della muratura. Inoltre ai fini di un eventuale intervento di consolidamento mediante iniezioni è anche opportuno conoscere la percentuale di vuoti nella sezione, la loro dimensione e distribuzione. Questi dati possono essere forniti da un'indagine per campioni sulle murature degli edifici da riparare mediante un rilievo della sezione muraria, ottenuta ad esempio da una foto tramite raddrizzamento fotografico.

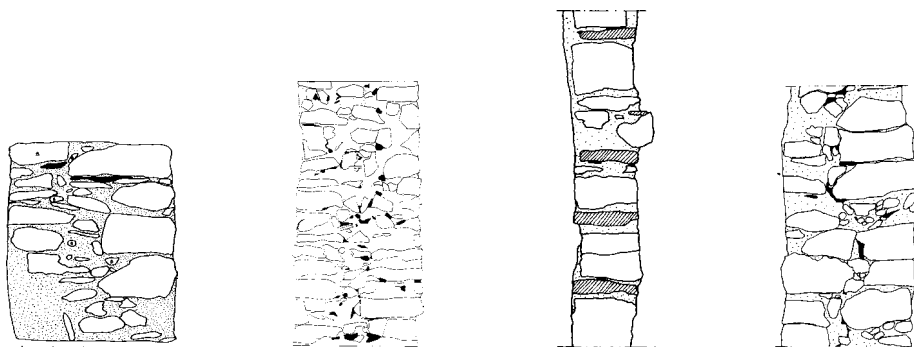
Allo scopo di scegliere materiali da impiegare per il consolidamento occorre conoscere prima le caratteristiche dei componenti la muratura originaria, cioè la composizione delle malte e le caratteristiche fisiche e meccaniche di pietre e mattoni. Tuttavia le caratteristiche meccaniche dei singoli componenti non sono facilmente correlabili con quelle della muratura, data la grande disomogeneità e la grande varietà di tecniche costruttive. Pertanto è opportuno caratterizzare direttamente la muratura nel suo insieme dal punto di vista meccanico in situ, ad esempio mediante la prova di rottura a compressione (prova con martinetto piatto doppio o altri tipi di prove). Da tali prove si dovrebbero individuare la resistenza e le caratteristiche di deformabilità.

Su due edifici scelti con l'aiuto dell'Ing. Scuderi del Comune di Catania e grazie alla collaborazione dell'Ing. Cocina del Genio Civile di Catania, studiati anche dagli altri membri del gruppo GNDT- Murature è stato possibile eseguire prove con semplice e con doppio martinetto piatto e prove chimiche e mineralogico-petrografiche sulle malte (Binda 1999a). Il rilievo di sezioni murarie è stato invece possibile solo su edifici in demolizione o nei quali erano aperti cantieri di consolidamento.

L'indagine ed i suoi risultati sono descritti di seguito.

---

<sup>1</sup> *Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Politecnico di Milano*



*Fig. 3.2.1 - Esempi di sezioni murarie rilevate in diverse regioni d'Italia*

### **3.2 Criteri utilizzati per la schedatura degli elementi murari e dei materiali**

L'Unità di Ricerca di Milano ha messo a punto una metodologia di schedatura delle informazioni raccolte sui singoli edifici (Abbaneo et al. 1993; Colombo, Molteni 1996; Abbaneo et al. 1996; Binda et al. 1997). Tale scheda contiene, oltre ad una breve informazione sull'edificio e sulla sua collocazione nel centro urbano, la descrizione dei paramenti murari e della o delle sezioni murarie. Paramenti murari e sezioni vengono rilevati a campione mediante fotografia, di parti già in vista o di scassi creati ad uopo, integrata dalla descrizione dei singoli paramenti, del loro spessore, delle connessioni, della quantità di pietra o mattoni, della malta e dei vuoti presenti. In un Data-Base predisposto da L. Binda sono archiviate circa 250 sezioni murarie rilevate in varie regioni d'Italia (Fig. 3.2.1).

All'interno di questo Data-Base la scheda relativa al rilievo in cantiere viene integrata da altre inerenti alle prove di laboratorio e/o in situ i cui risultati vengono riportati in modo chiaro in apposite tabelle e grafici (ad es. analisi chimiche, ecc.) (Valenti, Lenaz, 1997, Palma, Penazzi 1997). La struttura della scheda permette ulteriori integrazioni con altri campi descrittivi nel caso, ad esempio, in cui siano stati realizzati sull'edificio interventi di riparazione (Binda 1998).

È noto che la possibilità di predire in modo attendibile danni dovuti al sisma è maggiore se i meccanismi capaci di causare danneggiamenti progressivi o improvvisi fenomeni di collasso vengono riconosciuti e studiati. Nell'ambito di una indagine svolta in Umbria dopo il terremoto del 1997 le schede proposte sono state completate con schede relative ai meccanismi osservati sia su edifici non riparati o adeguati, sia su edifici riparati dopo il terremoto del 1979 (Binda, et al. 1999b).

### 3.3 Indagine su alcune tessiture e sezioni murarie di Catania

Gli edifici coinvolti nella campagna di rilievo sono stati otto, due dei quali scelti all'interno del Progetto Catania 1998 in collaborazione tra il Gruppo Murature del GNDT e gli Enti locali.

Poiché sui due edifici esaminati in maggiore dettaglio dal Gruppo non è stato possibile eseguire scassi sulle murature e nemmeno asportare parte dell'intonaco, le tessiture e le sezioni murarie esaminate altri sei edifici campione, nei quali esisteva un cantiere accessibile.

#### 3.3.1 Tessitura dei paramenti murari

L'analisi de confronto delle tessiture murarie analizzate su sei edifici, per complessivi sedici paramenti studiati, (Tab. 3.3.1.1) evidenzia una particolare attenzione nella posa in opera dei corsi e la prevalenza di materiale lapideo con un discreto grado di lavorazione.

Le lavorazioni più ricorrenti sono: la sbazzatura seguita da un'alta percentuale di conci ben squadriati, si rileva inoltre un diffuso utilizzo dei laterizi non solo nelle murature dette ad "intosto", ma anche sotto forma di zeppe ricavate dalla rottura dei coppi. Le murature realizzate ad "intosto", tipica dell'edilizia del tardo '800 per la realizzazione di divisori interni, sono costituite da blocchi di basalto lavico definiti in gergo "*cannarozzone da intosta*" che si presentano come dei conci perfettamente squadriati messi in opera a corsi regolari: ad un corso di si alterna una listatura di mattoni detta "*intosta*". I corsi si presentano prevalentemente ad andamento sub-orizzontale.

Le Fig. 3.3.1.1a,b,c,d mostra alcuni esempi di tessiture murarie rilevate. Nell'edificio Ca3 sono state rilevate delle murature costituite da un telaio ligneo tamponato con elementi lapidei e malta che ricorda il sistema "*baraccato*" (Fig. 3.3.1.1c).

Tab. 3.3.1.1 - Paramenti murari analizzati.

| Sigla | Ubicazione                | Paramenti studiati                          |
|-------|---------------------------|---------------------------------------------|
| Ca3   | Ed. Via Vittorio Emanuele | Ca3p1, Ca3p2, Ca3p3                         |
| Ca4   | Ed. Via Consolazione      | Ca4p1, Ca4p2                                |
| Ca5   | Ed. Via Consolazione      | Ca5p1, Ca5p2                                |
| Ca6   | Edificio religioso        | Ca6p1                                       |
| Ca7   | Palazzo della Provincia   | Ca7p1, Ca7p2, Ca7p3,<br>Ca7p4, Ca7p5, Ca7p6 |
| Ca8   | Ed. Via Dusmat            | Ca8p1, Ca8p2                                |

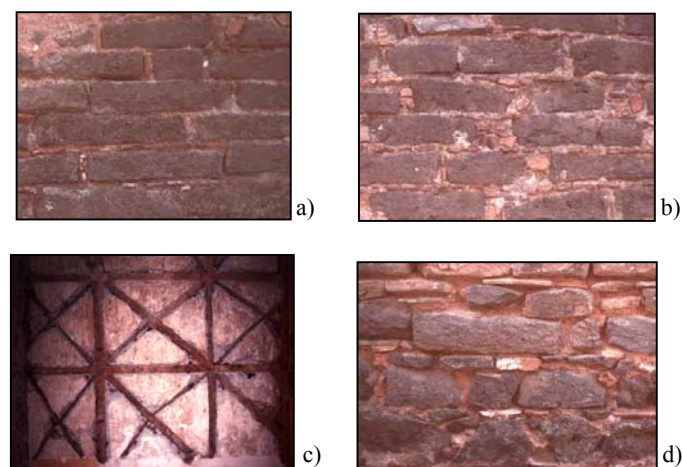


Figure 3.3.1.1 - Alcuni esempi di tessiture murarie rilevate.

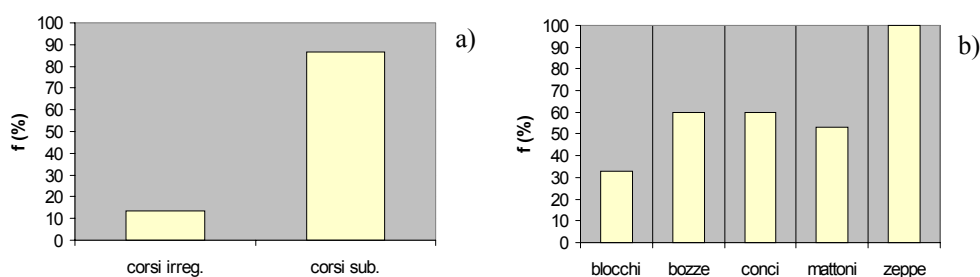


Fig. 3.3.1.2 - Frequenza delle disposizioni dei giunti e percentuali di presenza dei materiali rispetto a quindici sezioni esaminate.

La Fig. 3.3.1.2 a) mostra la distribuzione in percentuale delle metodologie di posa in opera di corsi e delle tipologie di lavorazione; b) mostra la forma delle pietre, nonché la presenza di mattoni e di zeppe rispetto alla sedici murature esaminate.

### 3.3.2 Sezioni murarie

Su alcuni edifici in fase di demolizione o di riparazione è stato possibile eseguire il rilievo delle sezioni murarie. Durante la campagna di rilievo sono state raccolte informazioni relative a quindici sezioni appartenenti a otto edifici differenti. La sedicesima è stata eliminata dalle elaborazioni perché presentava uno spessore molto particolare (130 cm) (Fig. 3.3.2.1).

La tipologia di sezione muraria prevalente risulta essere quella a due paramenti in parte sufficientemente ammorsati con dimensioni medie della sezione variabili intorno ai 65 cm. I casi di questo tipo sono stati 6 su 15.

Si segnalano 5 casi di muratura definita ad intosto con spessore medio cm 35; questa tipologia costruttiva è la tecnica tradizionale per la realizzazione di tramezzature e pareti interne. È caratterizzata dall'alternarsi di corsi regolari di mattoni e di pietra ben squadrata in conci, di altezza 25÷30 cm.

Tre murature risultano essere realizzate a 3 paramenti ma in due casi il terzo è una “fodera” aggiunta successiva in mattoni, e lo spessore medio della sezione è di cm 63.

I dati relativi alle quindici sezioni rilevate sono riportati in Fig. 3.3.2.a,b.

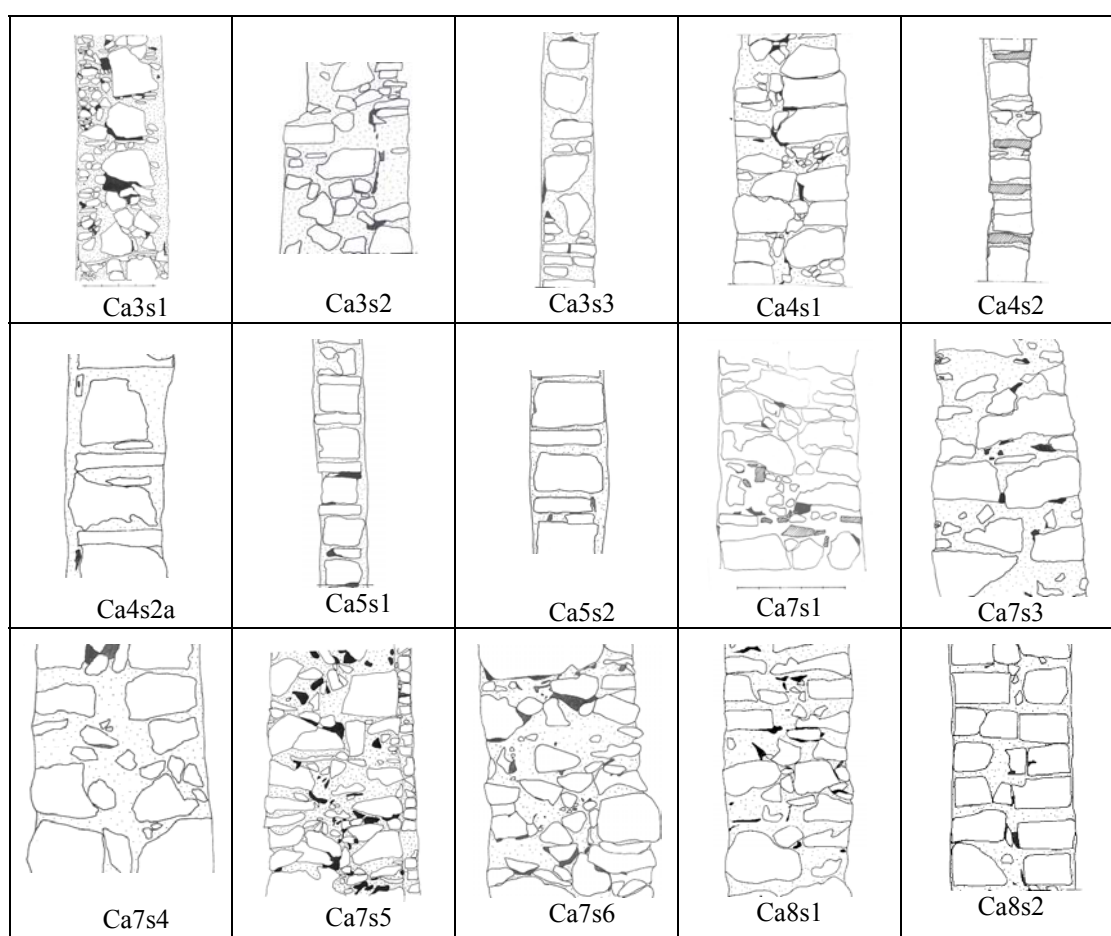


Fig. 3.3.2.1 - Sezioni murarie rilevate.

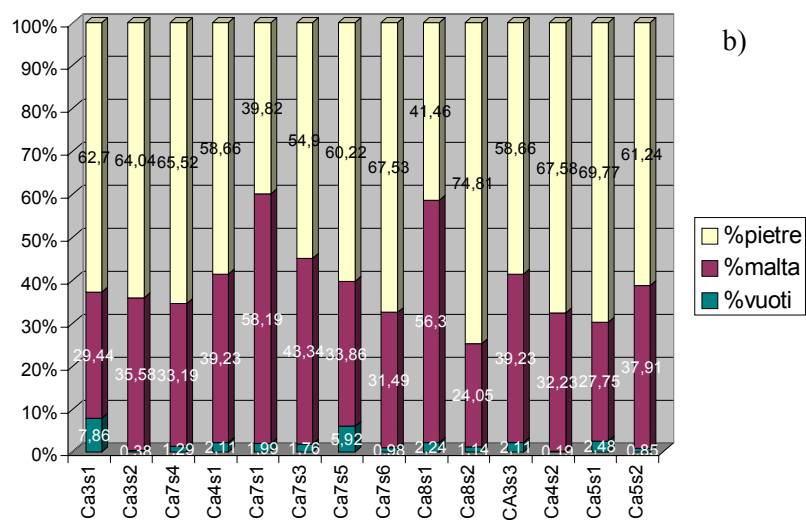
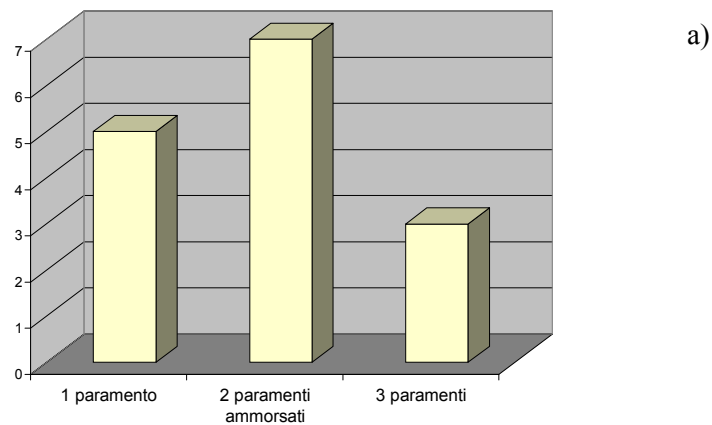


Fig. 3.3.2.2a,b - Caratteristiche geometriche delle sezioni rilevate.

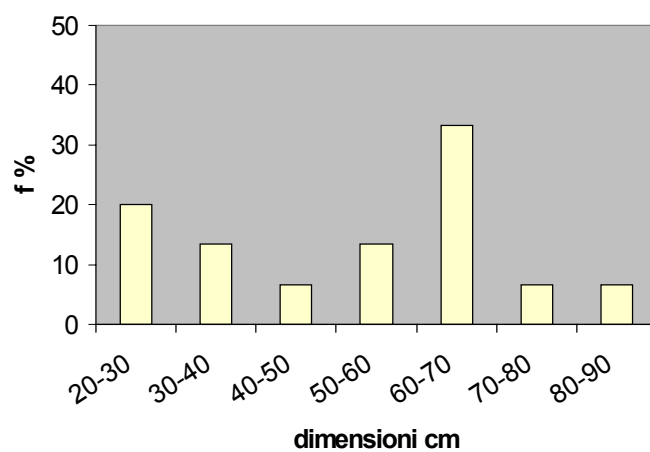


Fig. 3.3.2.3 - Alcuni esempi di sezioni rilevate.

Si può notare dalla Fig. 3.3.2.1. che la maggior parte delle murature è a due paramenti ammorsati. La percentuale di vuoti è generalmente molto bassa ( $<3\%$ ). In Fig. 3.3.2.3 sono state riportate le frequenze relative allo spessore delle murature rilevate.

Ovviamente i valori minimi si riferiscono a murature ad un solo paramento.

In Fig. 3.3.2.4a,b,c sono riportati tre esempi delle sezioni murarie più ricorrenti. La Fig. 3.3.2.4a mostra una sezione a due paramenti ammorsati, nella Fig. 3.3.2.4b è riportata una muratura realizzata secondo le regole dell'intosto. In Fig. 3.3.2.4c è riportata la sezione a 3 paramenti chiaramente contenente un paramento accostato successivamente ai due originari.

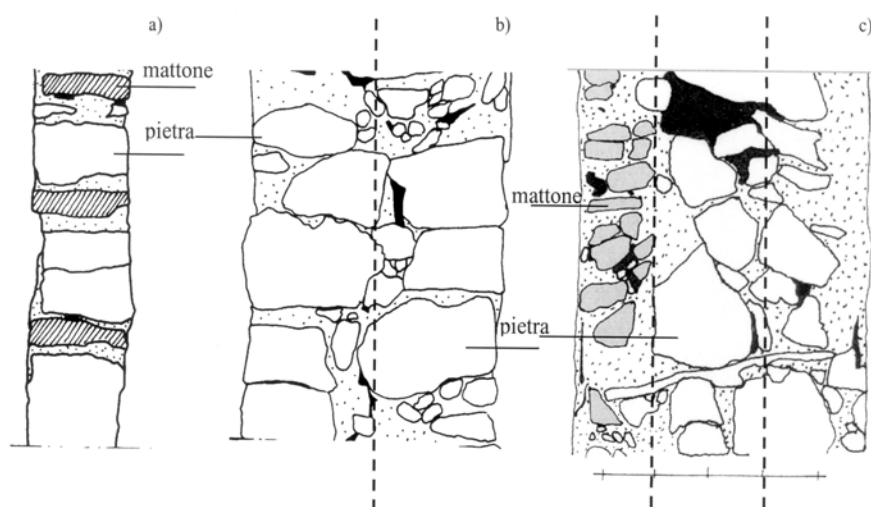


Fig. 3.3.2.4 - Alcuni esempi di sezioni rilevate: a) sezione a 2 paramenti parzialmente ammorsati; b) intosto; c) sezione a tre paramenti.



Fig. 3.3.3.1 - Una fase del prelievo del materiale lapideo.

### 3.3.3 Analisi e prove di laboratorio sui materiali

È stato possibile prelevare alcune pietre (Fig. 3.3.3.1) e/o campioni di malta dagli edifici denominati Ca3 e Ca4. Su tali campioni sono state eseguite prove di laboratorio.

#### 3.3.3.1 Analisi delle malte

Dall'edificio Ca3 sono state prelevate due malte identificate dalle sigle Ca3p3.2m e Ca3p5.3m.

Le analisi chimiche evidenziano la natura calcarea del legante (Tab. 3.3.3.1.1). Il grado di carbonatazione è per tutte e due le malte elevato. La sabbia utilizzata risulta essere di origine vulcanica di natura prevalentemente silicea con rari frammenti di rocce carbonatiche.

All'analisi petrografica in sezione sottile non sono state notate tra legante ed aggregato reazioni di tipo pozzolanico come ci si potrebbe aspettare nel caso di aggregato di tipo vulcanico.

Tab. 3.3.3.1.1: Analisi delle malte.

| CAMPIONI CATANIA                                 | Ca 3 p3 2m            | Ca 3 p5 3m            |
|--------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Determinazioni                                   | %                     | %                     |
| Silice totale (SiO <sub>2</sub> )                | 41,83                 | 38,83                 |
| Allumina                                         | 15,40                 | 14,02                 |
| Ossido ferrico (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) | 8,33                  | 9,04                  |
| Ossido di calcio                                 | 15,68                 | 16,03                 |
| Ossido di magnesio                               | 2,58                  | 2,58                  |
| Ossido di sodio                                  | 2,18                  | 2,50                  |
| Ossido di potassio                               | 1,82                  | 1,69                  |
| Anidride solforica (SO <sub>3</sub> )            | 0,09                  | 0,33                  |
| Perdita al fuoco                                 | 11,43                 | 14,05                 |
| Anidride carbonica (CO <sub>2</sub> )            | 10,51                 | 10,02                 |
| Cloruri                                          | 0,48                  | 0,78                  |
| Residuo insolubile                               | 66,24                 | 61,46                 |
| Silice solubile                                  | 0,64                  | 0,40                  |
| Massa volumica apparente                         | 1561Kg/m <sup>3</sup> | 1623Kg/m <sup>3</sup> |

## MALTA

|                                |                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| EDIFICIO:                      | Ca 1                                                                                                                                                                                                                            |
| PROVENIENZA PRELIEVI:          | Ca 1 p1                                                                                                                                                                                                                         |
| SIGLA CAMPIONE                 | Ca 1 p1m                                                                                                                                                                                                                        |
| CARATTERISTICHE MACROSCOPICHE: | la malta presenta un buon grado di compattezza ed ha una colorazione rossastra. Al suo interno si notano granuli di colore rosso (di dimensione variabile) e frammenti di rocce basaltiche. Sono presenti anche dei calcinelli. |

### ANALISI MINERALOGICO-PETROGRAFICHE

Al microscopio l'aggregato appare costituito prevalentemente da rocce vulcaniche. I frammenti di colore rosso sono rocce laviche fortemente bollose, con rari piccoli cristalli plagioclasici. I frammenti nerastri sono a carattere basaltico con struttura porfirica. Sono presenti rari e piccoli frammenti di rocce carbonatiche. Localmente, soprattutto per le rocce bollose, si possono osservare fenomeni di corrosione. Il legante è carbonatico

### ANALISI CHIMICHE

|                                                                 |       |                                |       |                    |       |
|-----------------------------------------------------------------|-------|--------------------------------|-------|--------------------|-------|
| Perdita al fuoco                                                | 7.61  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 6.48  | Residuo insolubile | 71.38 |
| CO <sub>2</sub>                                                 | 7.30  | CaO                            | 13.38 | Na <sub>2</sub> O  | 2.12  |
| SiO <sub>2</sub>                                                | 46.59 | MgO                            | 2.74  | K <sub>2</sub> O   | 1.94  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 25.10 | SO <sub>3</sub>                | 0.36  | Sil. Sol.          | 1.04  |
| Rapporto leg/agg:                                               |       | Massa vol. app.                | 1510  | G. Carbonatazione  | 100%  |

Fig. 3.3.3.1.1 - Scheda della malta CA p1m.

La fig. 3.3.3.1.1 mostra la scheda riportante i risultati delle analisi di un campione di malta così come viene fornita dal laboratorio.

### 3.3.3.2 Prove fisiche e meccaniche sulle pietre

Dai ruderi dell'edificio denominato Ca4 sito in via Consolazione sono stati prelevati due conci di pietra lavica ed un mattone per effettuare prove fisiche e meccaniche in laboratorio. Dalla sezione Ca4s1 dello spessore di 68 cm e costituita da due paramenti ammorsati è stato prelevato un concio di pietra dalla forma irregolare identificato con la sigla Ca4.2. Dalla sezione Ca4s2 dello spessore di 20 cm e ad un solo paramento, è stato prelevato un concio di pietra lavica contrassegnato come Ca4.3 e un mattone denominato Ca4.1.

Le analisi mineralogiche petrografiche hanno evidenziato le seguenti caratteristiche:

- Ca4.2: pietra lavica fortemente bollosa con rari piccoli cristalli prevalentemente plagioclasici. L'elevata bollosità indica l'appartenenza ad una colata superficiale.
- Ca4.3: roccia lavica a carattere basaltico con struttura porfirica, pasta di fondo vetrosa con microliti plagioclasici e fenocristalli prevalentemente plagioclasici, geminti e subordinatamente, pirossenici ed olivinici.

Dalle pietre prelevate sono stati carotati otto cilindri di diametro  $\varnothing=5\text{cm}$  e di altezza  $h=10\text{cm}$  (5 da CA4.2 e 3 da CA4.3) che sono stati sottoposti prima a prove fisiche e successivamente a prove di compressione; 2 cilindri sono stati sottoposti a prova Brasiliana. Dal mattone sono stati ricavati dei cubetti di lato 3,5 cm per prove di trazione indiretta e compressione e 2 prismi costituiti da tre cubetti sovrapposti per la determinazione delle caratteristiche di deformabilità.

I diagrammi mostrano i risultati delle prove di risalita capillare (Fig. 3.3.3.2.1) e delle prove di compressione (Fig. 3.3.3.2.2).

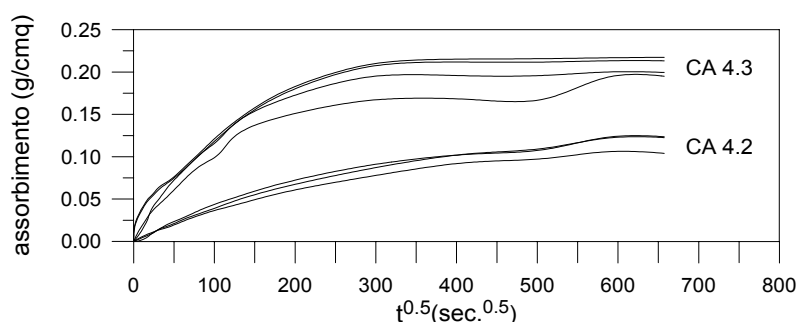


Fig. 3.3.3.2.1 - Grafico della risalita capillare nei campioni CA4.2 e CA4.3.

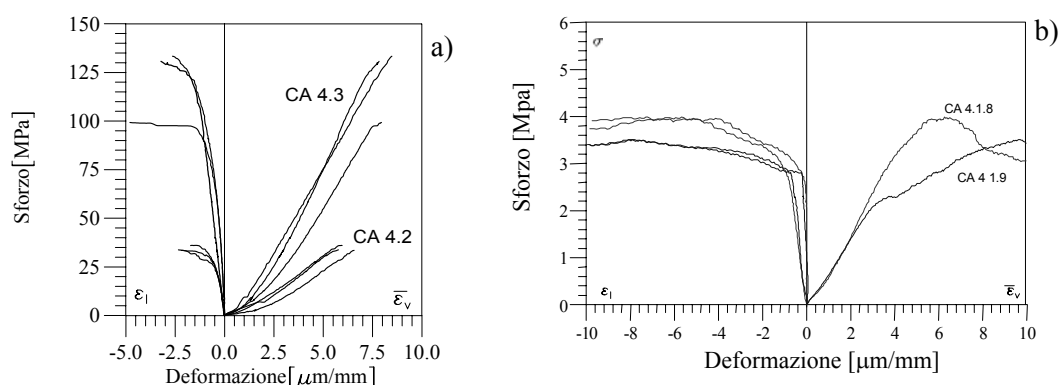


Fig. 3.3.3.2.2 - Prove di compressione su cilindri di pietra (a) e prismi di mattoni (b).

Dalle prove fisiche e meccaniche si evince quanto segue:

- Ca4.1 (mattone). Presenta una resistenza cubica a compressione (media di 3 prove) pari a  $4,96 \text{ N/mm}^2$  e su prismi costituiti da 3 cubi sovrapposti pari a  $3,74 \text{ N/mm}^2$ , il modulo elastico secante è pari a  $820 \text{ N/mm}^2$ . La resistenza a trazione indiretta è risultata pari a  $0,814 \text{ N/mm}^2$ . Il coefficiente di risalita capillare è risultato essere  $1,7881 \text{ g/cm}^2\text{s}^{0.5}$  relativo alle prime otto ore di prova.

- Ca4.2 (lava “bollosa”). Presenta una resistenza meccanica a compressione pari a  $34,9 \text{ N/mm}^2$ , il modulo elastico è di  $7765 \text{ N/mm}^2$  ed il coefficiente di risalita capillare è pari a  $0,09256 \text{ g/cm}^2\text{s}^{0.5}$  (relativo alle prime otto ore di prova) maggiore rispetto alla pietra più compatta; questi valori sono da considerarsi la media dei tre cilindri ricavati dal concio pietra Ca4.2. La resistenza a trazione indiretta è pari a  $3,885 \text{ N/mm}^2$  (media di due campioni).
- Ca4.3 (lava compatta). Presenta una resistenza meccanica a compressione pari a  $119,7 \text{ N/mm}^2$ , il modulo elastico è pari a  $13797 \text{ N/mm}^2$ , il coefficiente di risalita capillare è minore di Ca4.2 ed è pari a  $0,0352 \text{ g/cm}^2\text{s}^{0.5}$ ; questi valori sono da considerarsi la media dei tre cilindri ricavati dal concio pietra.

E' quindi possibile commentare che le pietre di origine vulcanica possono avere caratteristiche molto diverse.

### 3.4 Indagine sugli edifici studiati dal gruppo GNDT-murature

Per ciascuno dei due edifici studiati dal Gruppo Murature si è provveduto alla compilazione di una scheda ed all'esecuzione di prove in situ con i martinetti piatti allo scopo di caratterizzare la muratura.

L'edificio identificato con la sigla Ca1 è situato in via Verdi angolo via Capuana. Costituisce la testa di un isolato ed ha un impianto planimetrico a C (Fig. 3.4.1a). In altezza è articolato su tre livelli più ammezzati e presenta una partitura degli ambienti interni regolare.

Il piano terra è adibito ad uso commerciale con la presenza di alcuni piccoli negozi e dei loro magazzini. Il primo ed il secondo piano sono invece adibiti ad uso residenziale e sono inoltre stati soggetti ad interventi di ristrutturazione che hanno comportato la creazione di soppalchi in un'ala dell'edificio. L'edificazione è avvenuta in epoche differenti. La costruzione più antica è da ritenersi anteriore al 1840 mentre i successivi interventi sono da considerarsi comunque anteriori al 1900.

La muratura si presenta costituita prevalentemente da pietre di origine vulcanica. Nella tessitura del paramento murario sono leggibili ricorsi e zeppe costituite da frammenti di tegole.

Le murature interne sono realizzate con conci di pietra lavica. Gli orizzontamenti sono costituiti da volte in pietra. La copertura è lignea ed il manto è realizzato con coppi siciliani.

Dopo il terremoto del 1990 la fabbrica presenta delle lesioni soprattutto nella parte prospiciente via Oberdan. Tali lesioni interessano soprattutto gli ambienti voltati del secondo piano.

L'edificio situato in via Martoglio, identificato con la sigla Ca2, è stato costruito negli anni '50 ed è rappresentativo dell'edilizia in muratura realizzata nel dopoguerra. Si sviluppa su cinque piani comprensivi del piano terreno (Fig. 3.4.1b). Le pareti perimetrali sono realizzate con conci di pietra lavica e alcune pareti interne in mattoni. I solai sono in latero-cemento.

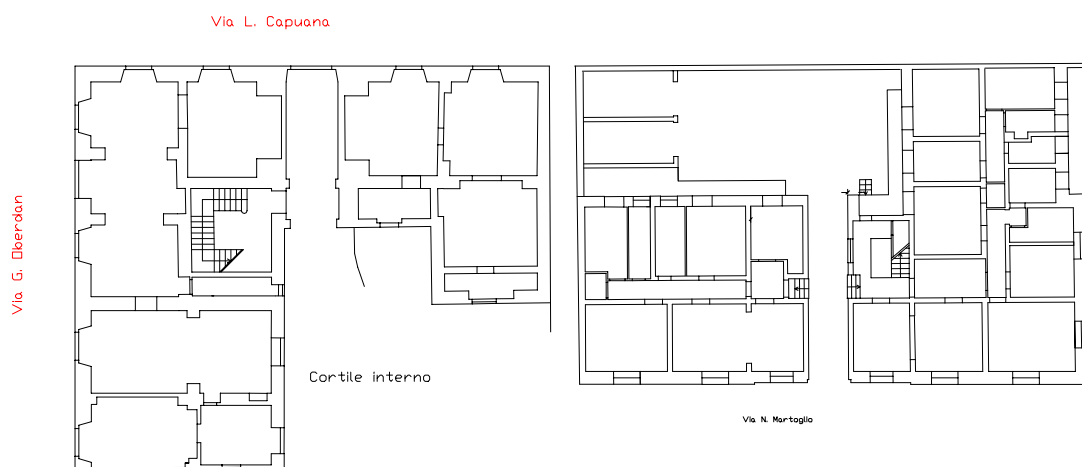


Fig. 3.4.1a - Edificio CA1 - Pianta del piano terreno.

Fig. 3.4.1b - Edificio CA2 - Pianta del piano terreno.

Su questi due edifici è stato possibile condurre prove in situ mediante martinetto piatto doppio per ricavare le caratteristiche meccaniche delle murature. Non è stato possibile, invece, rilevare la sezione delle murature in quanto non è stato concesso il permesso di eseguire scassi o carotaggi. Dall'edificio Ca1 è stato invece possibile prelevare un campione di malta per le analisi di laboratorio.

### 3.4.1 Edificio Ca1: analisi della malta

Un campione di malta è stato prelevato dall'edificio di via Verdi e sottoposto ad analisi chimiche e petrografiche. La malta analizzata presentava un buon grado di compattezza e presenta una colorazione rossastra. All'analisi visiva sono individuabili granuli di colore rosso e frammenti di rocce basaltiche. Sono presenti



Fig. 3.4.1.1 - Campione di malta proveniente dall'edificio CA1.

anche dei calcinelli (Fig. 3.4.1.1). La malta classificata come Ca1 p2m proviene dalla muratura sottoposta alla prova con i martinetti piatti. All'analisi visiva presenta una colorazione rossastra e mostra un buon grado di compattezza.

L'analisi chimica evidenzia la natura calcarea del legante ed un grado di carbonatazione elevato, la natura silicea dell'aggregato viene posta in evidenza dall'elevato valore di residuo insolubile. Il contenuto in silice solubile è superiore a quello riscontrabile in una malta confezionata con legante aereo (Tab. 3.4.1.1). La presenza della silice solubile potrebbe essere riconducibile alla reazione intercorsa fra il legante e la sabbia vulcanica soprattutto in quella di natura bollosa, reazione messa in evidenza dalle analisi mineralogico-petrografiche e visibile nella (Fig. 3.4.1.2).

Tab. 3.4.1.1 - Analisi chimiche del campione di malta Ca1 p2m.

| CAMPIONI CATANIA                                 | <i>Ca 1 p2 m</i>      |
|--------------------------------------------------|-----------------------|
| Determinazioni                                   | %                     |
| Silice totale (SiO <sub>2</sub> )                | 46,59                 |
| Allumina                                         | 18,62                 |
| Ossido ferrico (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) | 6,48                  |
| Ossido di calcio                                 | 13,38                 |
| Ossido di magnesio                               | 2,74                  |
| Ossido di sodio                                  | 2,12                  |
| Ossido di potassio                               | 1,94                  |
| Anidride solforica (SO <sub>3</sub> )            | 0,36                  |
| Perdita al fuoco                                 | 7,61                  |
| Anidride carbonica (CO <sub>2</sub> )            | 7,30                  |
| Cloruri                                          | 0,034                 |
| Residuo insolubile                               | 71,38                 |
| Silice solubile                                  | 1,04                  |
| Massa volumica apparente                         | 1510Kg/m <sup>3</sup> |

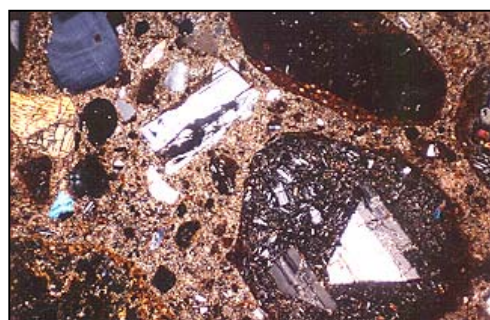


Fig. 3.4.1.2 - Visione in sezione sottile del campione di malta Ca1 p2m.

### 3.4.2 Prove con i martinetti piatti

Negli edifici Ca1 e Ca2 sono state eseguite complessivamente tre prove con i martinetti piatti identificabili con le sigle CTJ1D e CTJ2D per il primo e CTJ3D per il secondo (Figg. 3.4.2.1a,b,c) (Binda, Tiraboschi 1999).

Le prove con doppio martinetto hanno fornito i seguenti risultati: valore massimo di sforzo a compressione, calcolato prima della rottura a circa il 70% del valore di picco, per CTJ1D pari a 2,3 MPa, per CTJ2D pari a 2,2 MPa, per CTJ3D pari a 2,6 MPa. Tali valori sono, per esperienza, indicativi di una buona muratura (Tab. 3.4.2.1).

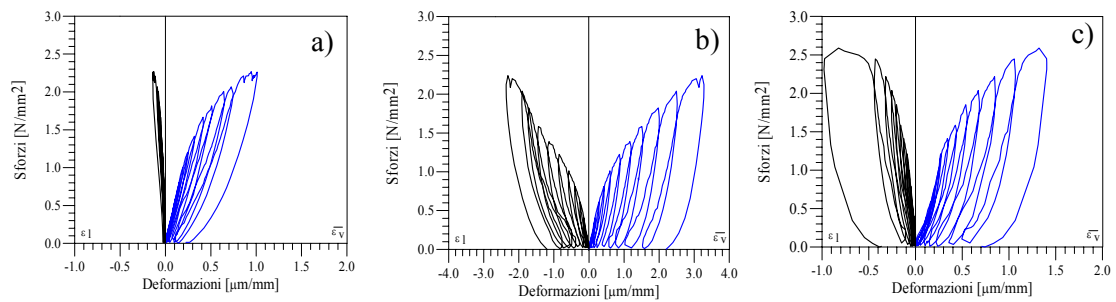


Fig. 3.4.2.1a,b,c - Prove con martinetto doppio CTJ1D, CTJ2D e CTJ3D.

La muratura più debole sembra essere quella relativa al secondo paramento analizzato in Ca1 sicuramente eseguita in epoca successiva alla costruzione di edificio con tessitura diversa.

Tab. 3.4.2.1: Risultati dei martinetti.

| Nome Prova             | $\sigma$ max applicata | E [N/mm <sup>2</sup> ]                    |         | $\Delta\epsilon_l/\Delta\epsilon_v$       |         |
|------------------------|------------------------|-------------------------------------------|---------|-------------------------------------------|---------|
|                        |                        | Intervallo di carico [N/mm <sup>2</sup> ] |         | Intervallo di carico [N/mm <sup>2</sup> ] |         |
|                        | [N/mm <sup>2</sup> ]   | 0,4÷1                                     | 1,2÷1,8 | 0,4÷1                                     | 1,2÷1,8 |
| CTJ1D<br>via Verdi     | 2,27                   | 5200                                      | 2300    | 0,15                                      | 0,13    |
| CTJ2D<br>via Verdi     | 2,24                   | 1400                                      | 550     | (1,01)                                    | (0,81)  |
| CTJ3D<br>via Martoglio | 2,59                   | 4700                                      | 2400    | 0,38                                      | 0,43    |

Le figure 3.4.2.2, 3.4.2.3, 3.4.2.4 mostrano come può essere eseguita una scheda tipo relativa all'indagine su un edificio.

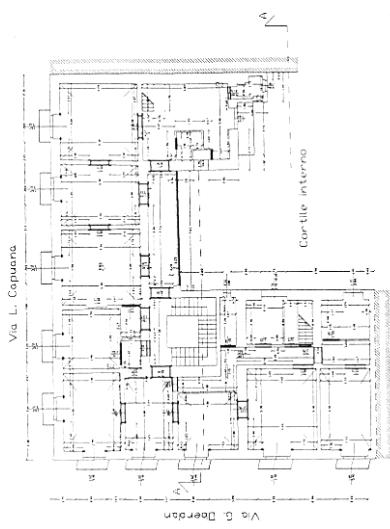
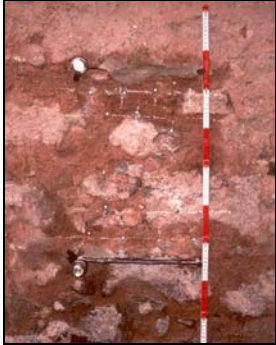
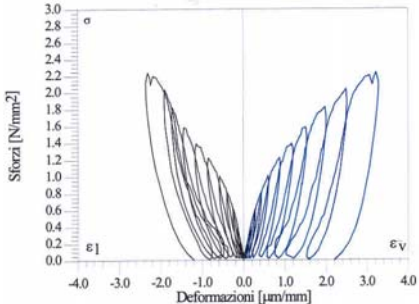
| SCHEDA PER IL RILIEVO TIPOLOGICO E DEI DANNI SISMICI AGLI EDIFICI                                                                                                                                                                         |                                             |                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------|
| SCHEDA n° 1                                                                                                                                                                                                                               | Data: 28.07.1998                            | Rilevatore: Penazzi - Parisi      |
| Comune: Catania                                                                                                                                                                                                                           | Località: Catania                           | Indirizzo: via Verdi, via Capuana |
| Denominazione manufatto: Ca 1                                                                                                                                                                                                             | Proprietà: privata                          |                                   |
| Riferimento per il sopralluogo: Ing. Paola Arezzo                                                                                                                                                                                         |                                             | Telefono:                         |
| Progettista del manufatto e/o del consolidamento: Ing. Paola Arezzo, Arch. Olivia Parisi                                                                                                                                                  |                                             |                                   |
| <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> |                                             |                                   |
| <b>Sezione n° 1 – DESCRIZIONE DEL MANUFATTO</b>                                                                                                                                                                                           |                                             |                                   |
| Posizione nel contesto: connessi con altri edifici su lati 2                                                                                                                                                                              |                                             |                                   |
| Tipologia edilizia: edificio urbano                                                                                                                                                                                                       | Destinazione d'uso: abitazione              |                                   |
| Epoca di costruzione: XIX sec                                                                                                                                                                                                             | Rifacimenti e modifiche: presenti           |                                   |
| Stato di conservazione: buono                                                                                                                                                                                                             | Caratteristiche del sito: piano             |                                   |
| Pianta: articolata- forma una C                                                                                                                                                                                                           | Numero piani: fuori terra: 4                |                                   |
| Superficie media di piano (mq): 572 c.a.                                                                                                                                                                                                  | Dimensioni in m : pianta: <u>25.9x22.03</u> |                                   |
| Scale: interne                                                                                                                                                                                                                            | Materiale:                                  |                                   |
| Copertura: capriate lignee                                                                                                                                                                                                                | Consolidamenti:                             |                                   |
| Strutture verticali: murature in pietre                                                                                                                                                                                                   | Consolidamenti:                             |                                   |
| Strutture orizz. volte: volte ribassate                                                                                                                                                                                                   | Consolidamenti:                             |                                   |
| Strutt. orizz. solai: lignei                                                                                                                                                                                                              | Consolidamenti:                             |                                   |

Fig. 3.4.2.2 - Scheda per rilievo tipologico e dei danni sismici dell'edificio Ca1.

|                                                                                    |                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Sezione n° 2 – RILIEVO DELLA TIPOLOGIA MURARIA</b>                              |                                                                                     |
| <b>2a - TESSITURA DEI PARAMENTI</b>                                                |                                                                                     |
| PROSPETTO: Ca1 p1                                                                  | <input type="checkbox"/> non rilevabile                                             |
| Ruolo strutturale: muratura d'ambito                                               | Tipologia: muratura in pietra                                                       |
| Apparecchiatura: corsi sub - orizzontali                                           | Zeppe: in pietra e laterizio                                                        |
| Ricorsi: assenti                                                                   | Orizzontamenti: assenti                                                             |
| Distanza fra i ricorsi: _                                                          |                                                                                     |
| <b>CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI</b>                                             |                                                                                     |
| <b>ELEMENTI LAPIDEI</b>                                                            |                                                                                     |
| Tipo elemento lapideo: pietra lavica                                               | Provenienza: cava                                                                   |
| Lavorazione: appena accennata                                                      | Forma: blocchi, bozze                                                               |
| Dimensioni: medio-grandi                                                           | Stato di conservazione: mediocre                                                    |
| <b>MALTA CA M1</b>                                                                 |                                                                                     |
| Funzione: allettamento                                                             | Consistenza: compatta                                                               |
| Colore della malta: rosa                                                           | Colore dell'aggregato: rosso, grigio                                                |
| Aggregato: sabbia, ghiaietto                                                       | Forma: arrotondato, spigoloso                                                       |
| <b>PROVA CON I MARTINETTI PIATTI: CTJ1D</b>                                        |                                                                                     |
|  |  |
|                                                                                    |                                                                                     |

*Fig. 3.4.2.3 - Rilievo del prospetto e risultati della prova con i martinetti piatti.*

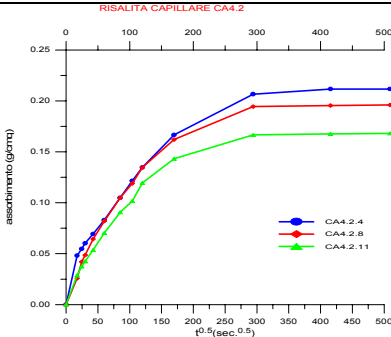
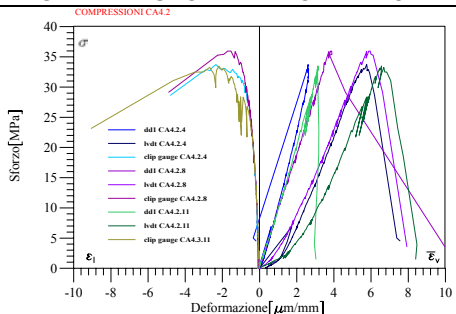
| PIETRA                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                              |                                                                                      |                                        |                                                   |                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| EDIFICIO: Ca 4                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                              | PROVENIENZA PRELIEVI: Ca 4 s1                                                        |                                        |                                                   |                                                    |
| SIGLA CAMPIONI Ca 4.2.4 – Ca 4.2.8 – Ca 4.2.11                                                                                                                                                                                                                                                            |                                              |   |                                        |                                                   |                                                    |
| CARATTERISTICHE MACROSCOPICHE: Il campione è costituito da una roccia lavica fortemente bollosa. La forma e disposizione delle cavità e dei cristalli vetrosi in essa contenuti caratterizzano le pietre laviche provenienti dalle colate e che hanno quindi subito un fenomeno di raffreddamento rapido. |                                              |                                                                                      |                                        |                                                   |                                                    |
| ANALISI MINERALOGICO-PETROGRAFICHE                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                              |                                                                                      |                                        |                                                   |                                                    |
| LITOTIPO                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                              | Pietra Lavica                                                                        |                                        |                                                   |                                                    |
| Pietra lavica fortemente bollosa con rari cristalli prevalentemente plagioclasici.                                                                                                                                                                                                                        |                                              |                                                                                      |                                        |                                                   |                                                    |
| ANALISI FISICHE                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                              |                                                                                      |                                        |                                                   |                                                    |
| Sigla provino                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                              | Ca 4.2.4                                                                             | Ca 4.2.8                               | Ca 4.2.11                                         | Media                                              |
| Dimensioni del provino cilindrico (cm)                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                              | 5d x 10h                                                                             | 5d x 10h                               | 5d x 10h                                          | 5d x 10h                                           |
| Massa Volumica apparente (Kg/m³)                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                              | 2365                                                                                 | 2386                                   | 2208                                              | 2319                                               |
| Coefficiente di Assorbimento per Immersione %                                                                                                                                                                                                                                                             |                                              | 2,72                                                                                 | 2,86                                   | 3,09                                              | 2,89                                               |
| GRAFICO DELLA RISALITA CAPILLARE                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                              |  |                                        |                                                   |                                                    |
|                                                                                                                                                                                                                         |                                              |                                                                                      |                                        |                                                   |                                                    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                              |                                                                                      |                                        |                                                   |                                                    |
| PROVE MECCANICHE                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                              |                                                                                      |                                        |                                                   |                                                    |
| PROVA DI COMPRESSIONE - PIETRA LAVICA                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                              |                                                                                      |                                        |                                                   |                                                    |
|                                                                                                                                                                                                                        | f <sub>c</sub><br>N/mm <sup>2</sup>          | Modulo elastico secante (30-45%)                                                     |                                        | Poisson (30-60%)                                  |                                                    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                              | E <sub>dd1</sub><br>N/mm <sup>2</sup>                                                | E <sub>lvdt</sub><br>N/mm <sup>2</sup> | $\frac{\Delta \epsilon_o}{\Delta \epsilon_v}$ dd1 | $\frac{\Delta \epsilon_o}{\Delta \epsilon_v}$ lvdt |
| Sigla provino                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                              |                                                                                      |                                        |                                                   |                                                    |
| Ca 4 2.4                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 34                                           |                                                                                      | 7750                                   |                                                   |                                                    |
| Ca 4 2.8                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 37                                           |                                                                                      | 8045                                   |                                                   |                                                    |
| Ca 4 2.11                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 33,6                                         |                                                                                      | 7500                                   |                                                   |                                                    |
| Media                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 34,9                                         |                                                                                      | 7765                                   |                                                   |                                                    |
| DIAGRAMMA SFORZI-DEFORMAZIONI                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                              |  |                                        |                                                   |                                                    |
|                                                                                                                                                                                                                        |                                              |                                                                                      |                                        |                                                   |                                                    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                              |                                                                                      |                                        |                                                   |                                                    |
|                                                                                                                                                                                                                        | PROVA DI TRAZIONE INDIRETTA<br>(Brasiliiana) |                                                                                      |                                        | Sigla                                             | f <sub>ti</sub> (N/mm <sup>2</sup> )               |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                              |                                                                                      |                                        | Ca 4 2.5                                          | 3,770                                              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                              |                                                                                      |                                        | Ca 4 2.6                                          | 4,000                                              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                              |                                                                                      |                                        | Media                                             | 3.885                                              |

Fig. 3.4.2.4 - Prove fisiche e meccaniche su un campione di pietra.

### 3.5 Conclusioni

La schedatura di alcune tipologie di sezione muraria evidenzia che le murature “dopo terremoto” (del 1693), sono state eseguite con una certa accuratezza e con lo scopo di ottenere murature ben connesse con materiali resistenti e durevoli. In particolare si presenta molto interessante il tipo di malta utilizzato a base di calce e di aggregati di origine vulcanica e pozzolanici, nella quale si sono notate reazioni di tipo pozzolanico che hanno reso il materiale più compatto e resistente.

La ricerca della quale si presentano i risultati ha permesso di classificare le murature costruite dopo il terremoto del 1693 come murature ben costruite e di conoscere alcune malte particolari a base di calce e di “*ghiara*”, un materiale proveniente dai depositi di lava, talvolta con buone caratteristiche di pozzolanicità.

Tuttavia non in tutte le murature il materiale vulcanico usato è risultato essere di natura pozzolanica. Pertanto una ricerca più approfondita sull’argomento potrebbe fornire indicazioni molto utili anche per la scelta di malte da utilizzarsi negli interventi di riparazione.

### BIBLIOGRAFIA

- Abbateo, S., Anzani, A., Binda, L. 1996. Il rilievo delle sezioni ed il comportamento meccanico delle murature, *Storia delle Tecniche Murarie e Tutela del Patrimonio*, Esperienze e Questioni di Metodo, 25-36.
- Abbateo, S., Baronio, G., Binda, L., Tiraboschi, C. 1993. Murature in pietra: classificazione ed indagini preliminari per la scelta e la progettazione delle miscele di iniezione, Convegno “Murature, Sicurezza, recupero”, Trento, 185-222.
- Baronio, G., Binda, L. 1994. Study of the pozzolanicity of stone bricks and clays, 10th Int. Brick/Block Masonry Conf., Calgary, 3, 1189-1197. Publ. in *Construction and Building Materials*, (134), 1-6, 1997.
- Binda, L. 1998. Sperimentazione di tecniche di intervento strutturale su edifici in muratura nei centri storici: caratterizzazione meccanica delle murature in pietra della Lunigiana e verifica sperimentale dell’efficienza delle tecniche di intervento per la riparazione e il consolidamento degli edifici in muratura, Relazione Conclusiva della Convenzione di studio tra la Regione Toscana e il Dip. Ing. Strutt. del Politecnico di Milano.
- Binda, L., Modena, C., Baronio, G., Abbateo, S. 1997. Repair and investigation techniques for stone masonry walls, *Construction and Building Materials*, **11**, (3), 133-142.
- Binda, L. 1999a. Caratterizzazione delle murature in pietra e mattoni ai fini dell’individuazione di opportune tecniche di riparazione, Unità di Ricerca di Milano, Relazione Finale, Contratto CNR/GNDT.
- Binda, L., Palma, M., Penazzi, D. 1999b. Investigation before and after the intervention for a cautious repair of stone-masonry structures in seismic areas Int. Tagung Conv. on Arbeitshette des SFB 315, October, Karlsruhe, 99-108, 16/1999.
- Binda, L., Tiraboschi, C., 1999. Flat-jack Test as a Slightly Destructive Technique for the Diagnosis of Brick and Stone Masonry Structures, 8<sup>th</sup> Int. Conf. and Exhibition, Structural Faults + Repair, CD-ROM.

- Colombo, L., Molteni, L. 1995/96. Analisi tipologico-strutturale dell'architettura rurale in Vallagarina: proposte di un metodo di schedatura, Tesi di laurea, Fac. Architettura, Politecnico Milano, relatore Prof. L. Binda.
- Palma, M., Penazzi, D. 1996/97. Studio e qualificazione di murature in pietra della Lunigiana per la scelta di adeguate tecniche di miglioramento strutturale in zona sismica, Tesi di laurea, Fac. Architettura, Politecnico Milano, relatore Prof. L. Binda.
- Valenti, A., Lenaz, L. 1996/97. Murature in pietra della Lunigiana e Garfagnana: procedure di indagine per la caratterizzazione dei materiali e delle strutture, Tesi di laurea, Fac. Architettura, Politecnico di Milano, relatore Prof. L. Binda.