

Progetto RE-FRESCOS

Atti della Giornata Seminariale
Giovedì 1° Luglio, 2010, Aula Albenga (DISTR)

Coordinatore: Prof. Alberto Carpinteri

Sessione della MATTINA (ore 10:30-12:30)
Problemi conservativi, valutazione delle tecniche di consolidamento e metodologie di indagine con ultrasuoni

Introduzione alla Giornata Seminariale da parte del coordinatore del progetto RE-FRESCOS
Prof. Alberto Carpinteri

| Orario | Oratore | Titolo dell'intervento |
|---------------------|--|---|
| 10:30-11:00 | Dr. M. Zerbinatti Prof. G. P. Scarzella | Sacro Monte di Varallo: Problemi conservativi su intonaci tinteggiati e decorazioni murarie della Cappella 13, del Palazzo di Pilato e del Monte Tabor |
| 11:00-11:15 | Dr. A. Grazzini | Valutazioni sulla durabilità delle malte di consolidamento applicate alle strutture di interesse storico |
| 11:15- 11:30 | Dr. P. Antonaci | Nonlinear ultrasonics: Sviluppi recenti e applicazioni per la caratterizzazione del danneggiamento nei materiali |
| 11:30- 11:45 | Prof. S. Valente | Prove meccaniche accelerate di distacco dell'intonaco dalla muratura |
| 11:45- 12:00 | Dr. D. Masera | Analisi lineari a non-lineari del danneggiamento dei materiali con l'utilizzo di tecniche ultrasoniche |
| 12:00- 12:15 | Dr. P. Tarizzo | Sonoscopia endosuperficiale: Descrizione di un metodo acustico per la diagnosi dello stato di conservazione degli affreschi del Sacro Monte di Varallo |

Sessione del POMERIGGIO (ore 14:30-16:30)

Metodi diagnostici innovativi, analisi chimico-fisica dei materiali e modelli numerici di simulazione del danneggiamento

| Orario | Oratore | Titolo dell'intervento |
|---------------------|------------------------------|---|
| 14:30-15:00 | Prof. A. Carpinteri | Emissione di energia dalla frattura di provini in compressione: Acustica, elettromagnetica, piezonucleare |
| 15:00-15:15 | Dr. A. Manuello | Analisi microchimiche ed evidenze dirette di reazioni piezonucleari in provini di roccia in compressione |
| 15:15-15:30 | Dr. O. Borla | Tecniche nucleari non distruttive nel campo dei beni culturali |
| 15:30-15:45 | Dr. G. Lacidogna | Emissioni acustiche ed elettromagnetiche durante la propagazione della frattura |
| 15:45-16:00 | Dr. S. Invernizzi | Prove non distruttive su edifici storici e monumentali: Modelli numerici per la loro interpretazione |
| 16:00- 16:15 | Dr. G. Niccolini | Monitoraggio con la tecnica di emissione acustica e correlazione con l'attività sismica regionale: Il caso studio della cattedrale di Siracusa |
| 16:15-16:30 | Prof. J.M.C. Tulliani | Caratterizzazione chimico-fisica degli intonaci di alcune cappelle del Sacro Monte di Varallo |
| 16:30-16:45 | Prof. R. Sandrone | Carta geologica del bacino idrografico del Fiume Sesia nella regione alpina e delle aree limitrofe |
| 16:45-17:00 | Dott. E. De Filippis | Il Sacro Monte: La sua conservazione |

Giornata Seminariale Progetto REFRESCOS

Giovedì 01 luglio 2010, Aula Albenga, DISTR, Politecnico di Torino
Coordinatore: Prof. Alberto Carpinteri

Problemi conservativi relativi a materiali lapidei naturali o artificiali con decorazioni presso la Cappella 13 (Tentazioni di Cristo nel deserto), la Cappella 17 (Trasfigurazione) e le Cappelle 23, 27, 29, 34 (Palazzo di Pilato) al Sacro Monte di Varallo Sesia

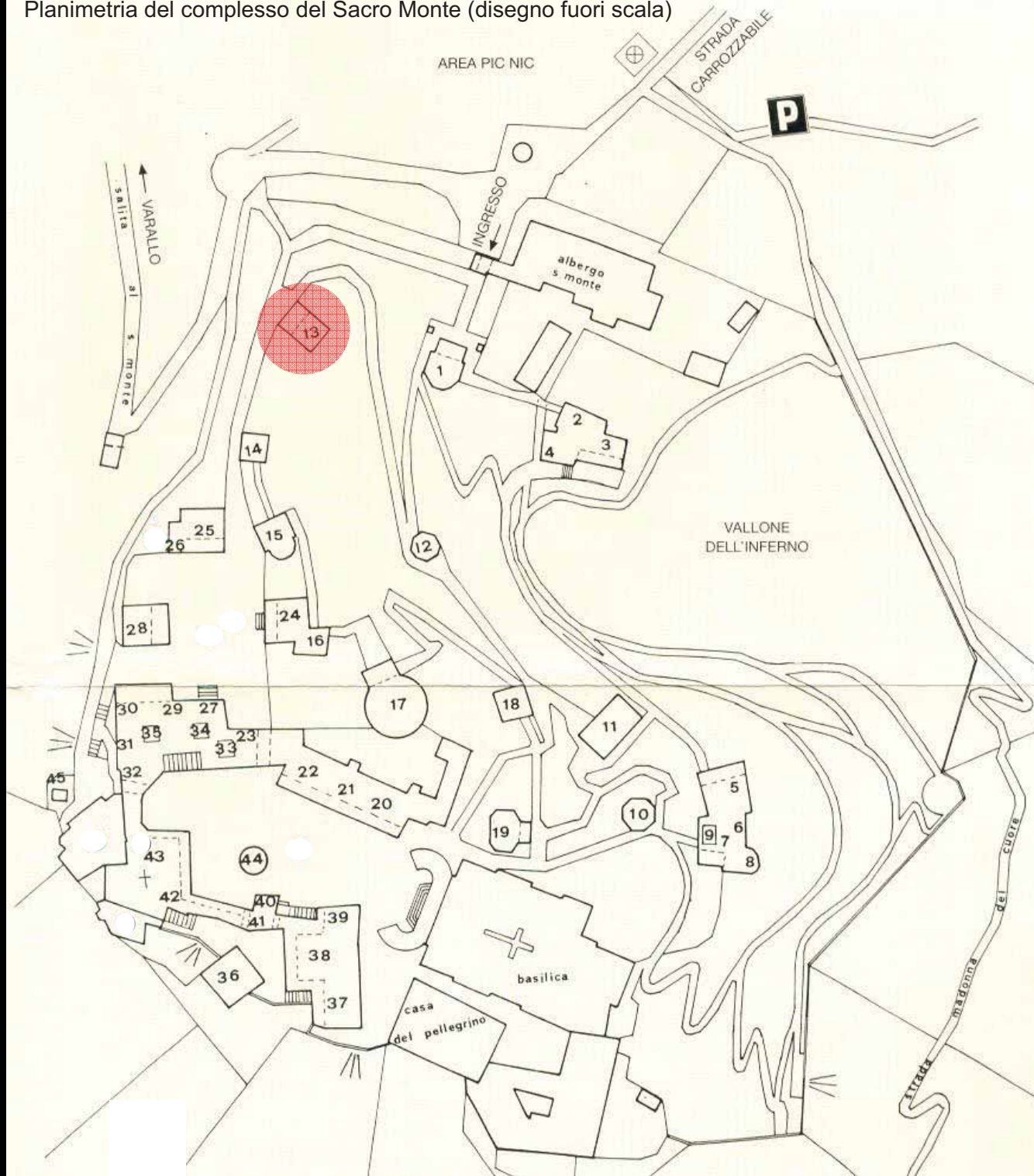
Paolo SCARZELLA

Marco ZERBINATTI

DISET, Politecnico di Torino



Planimetria del complesso del Sacro Monte (disegno fuori scala)



Cappella 13, *Le tentazioni di Cristo nel deserto.*



È una delle cappelle più antiche (data incisa su intonaco scuro)

Prospetto sud-est:

- *epoca alessiana (1565-1569): porta su questo lato (poi tamponata) e cappella con Cristo portatore di croce (da: E. De Filippis, Guida del Sacro Monte di Varallo, Borgosesia, 2009)*
- *rifacimenti di intonaci*
- *umidità di risalita per capillarità e interventi per convogliare lontano le acque di superficie (Ing. Massari)*



Fotografia dell'interno della Cappella 13. L'ellisse indica la parete dove all'esterno si può ancora leggere l'antica porta di ingresso tamponata.

(fotografia da: E. De Filippis, Guida del Sacro Monte di Varallo, cit., p. 64)



•Problema dello slittamento degli elementi lapidei della copertura (è previsto, a breve, un intervento di manutenzione straordinaria del sistema di copertura; ciò consentirà anche di effettuare un rilievo più accurato della parte alta del manufatto)





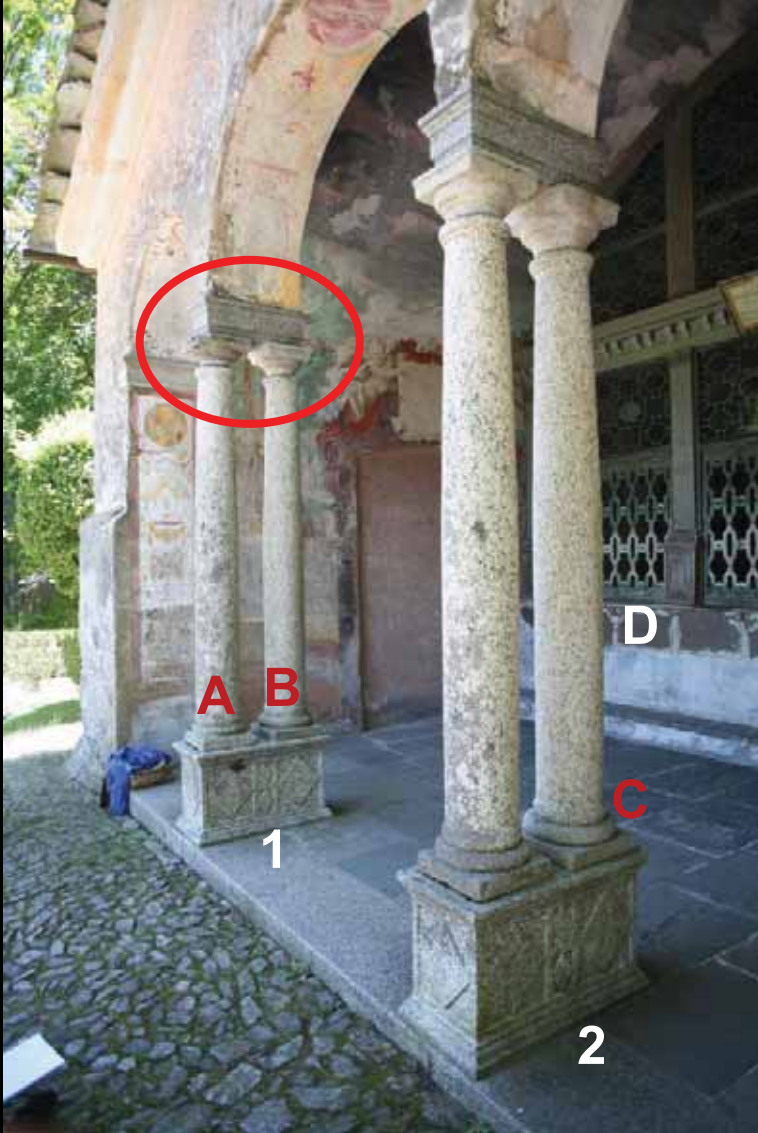
Prospetto nord-ovest. Problemi di:

- *dilavamento*
- *distacco di intonaci*
- *umidità di risalita per capillarità*
- *crepe profonde, fessurazioni superficiali*
- *colonizzazioni biologiche*
- *aggiunte per interventi di manutenzione*
- *modifiche e sostituzione di materiali*



Fornici dell'ingresso:

- *dilavamento*
- *perdita di parti dell'apparato decorativo*
- *adesione al supporto?*
- *coesione tra i diversi strati di intonaco decorato?*
- ?



Sostituzione degli elementi lapidei:

- *basamenti (1 e 2)*
- *colonne*
- *piccolo architrave di imposta degli archi*

D: blocchi di marmo locale dipinto



I plinti toroidali delle colonne, di diversa fattura, sono probabilmente gli elementi più antichi, al pari dei capitelli.

Solo l'elemento indicato con C risulta essere di recente sostituzione, poiché scolpito in sienite della Balma (Biella).







Prospetto nord-ovest.

Colonizzazioni biologiche alla base della decorazione con gli aironi dal collo intrecciato, primo fornice di sinistra, parte inferiore.



Prospetto nord-ovest.

**Decorazione con gli aironi
dal collo intrecciato: *filetti*
della decorazione.**





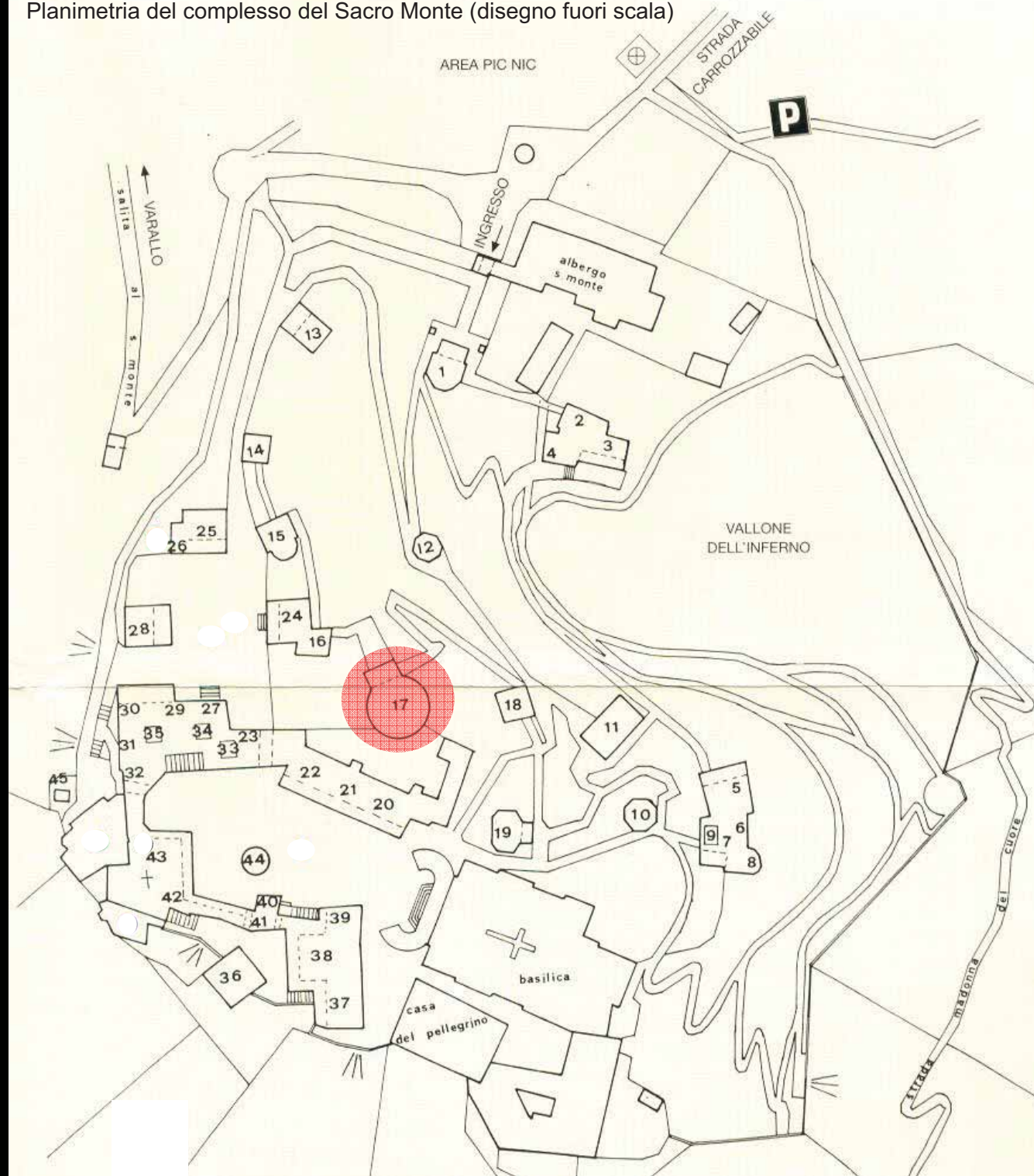
Intonaco scuro presente sul prospetto sud-est e sul prospetto nord-est.

Lo stesso intonaco molto liscio è presente sui prospetti egualmente esposti all'azione dell'acqua di stravento di molte altre cappelle del Sacro Monte.

Ingrandimenti con obiettivo macro 10X



Planimetria del complesso del Sacro Monte (disegno fuori scala)



Cappella 17, *La Trasfigurazione*.



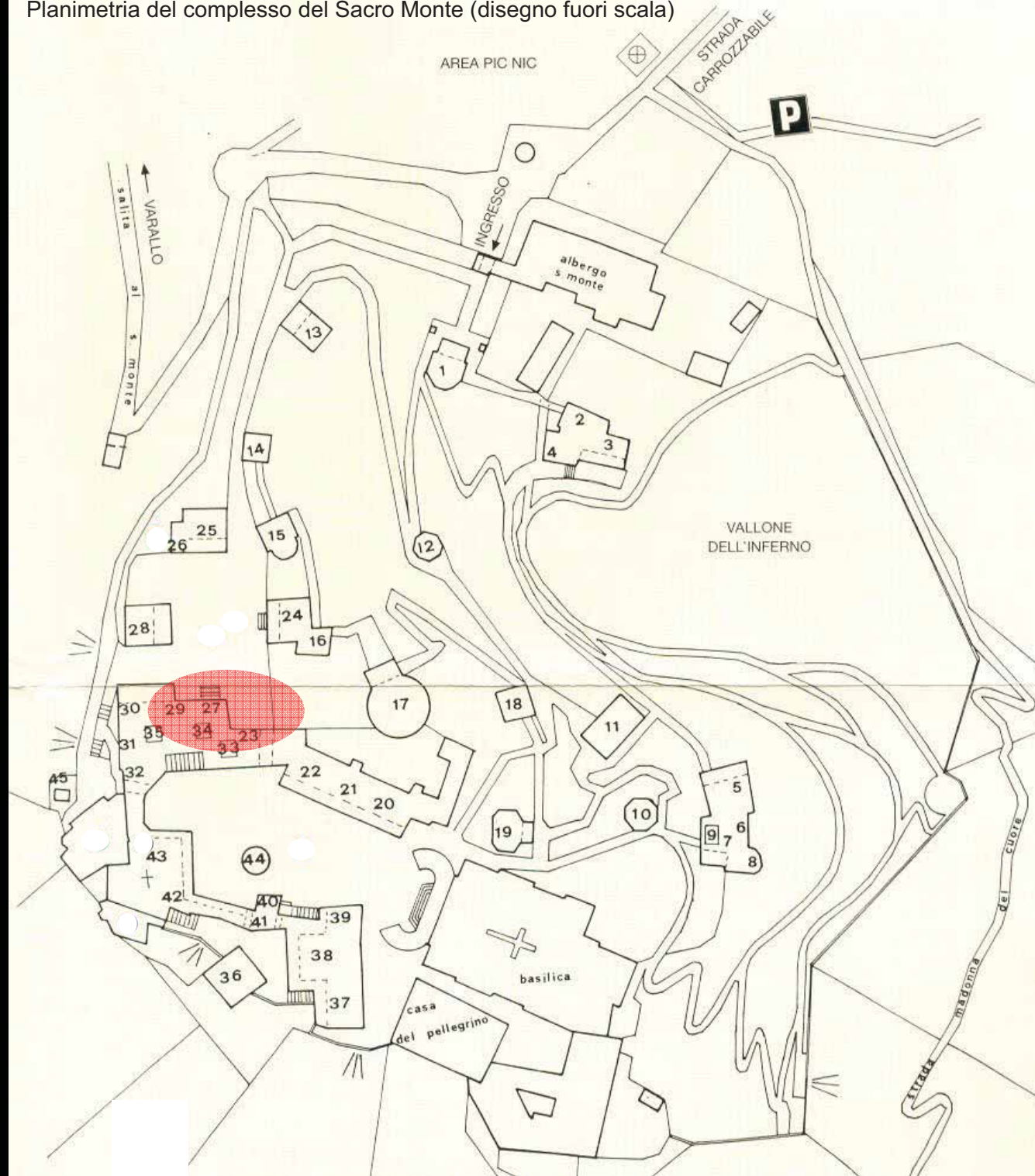
Prospetto nord-ovest. Problemi di:

- *dilavamento e disgregazione degli intonaci scuri e lisci (analoghi a quelli presenti sulle cappelle 13, 14, 15 25, 28; qui sono presenti solo sulla metà del cilindro più esposto all'acqua di stravento)*
- *umidità di risalita per capillarità ad altezza elevata*





Planimetria del complesso del Sacro Monte (disegno fuori scala)



Cappella 23 - Cappelle 27-29-34, *Palazzo di Pilato*.



Prospetto su Piazza dei Tribunali. Problemi di:

- *dilavamento e disgregazione degli intonaci (decorazioni ottocentesche)*
- *umidità di risalita per capillarità*
- ?

Cappella 23 - Cappelle 27-29-34, Palazzo di Pilato.



- Prospetto su Piazza dei Tribunali. Problemi di:
- *dilavamento e disgregazione degli intonaci (veste architettonica ottocentesca)*
 - *umidità di risalita per capillarità*
 - *presenza di evidenti crepe nella muratura verso il portico*
 - *desta interesse la condizione conservativa del lato interno della parete decorata con finte finestre (Cappella 34)*

Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies

June 28 - June 30, 2010 - Università Politecnica delle Marche, Ancona, Italy

Durability Evaluation of Strengthening Mortars Applied to Historical Masonry Structures

Prof. Pietro BOCCA and Dr. Alessandro GRAZZINI

Department of Structural and Geotechnical Engineering

Politecnico di Torino, Italy



INTRODUCTION

The restoration of historical masonry buildings is a complex process, in that the choice of the most compatible strengthening materials plays a basic role for the durability of reinforced structures.

Their long-term behaviour remains unknown in several aspects, especially when they are applied to deteriorated historical masonry structures, whose mechanical behaviour is often difficult to analyse.

Testing a new material  his ultimate strenght

SERVICE LIFE? FATIGUE BEHAVIOUR?

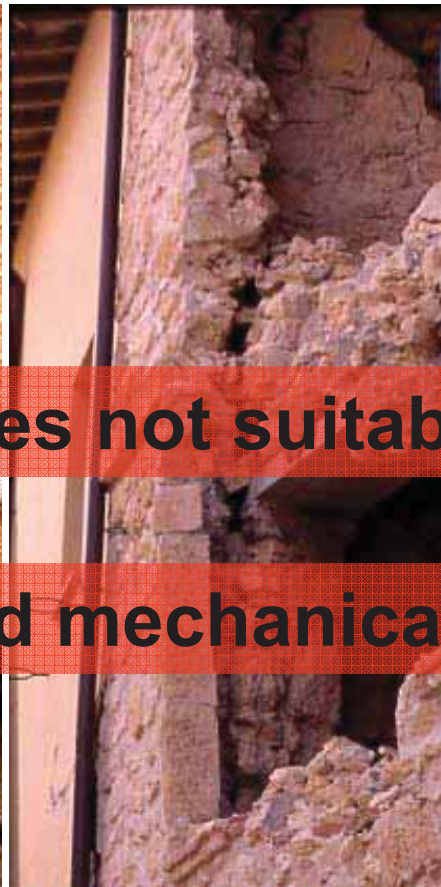
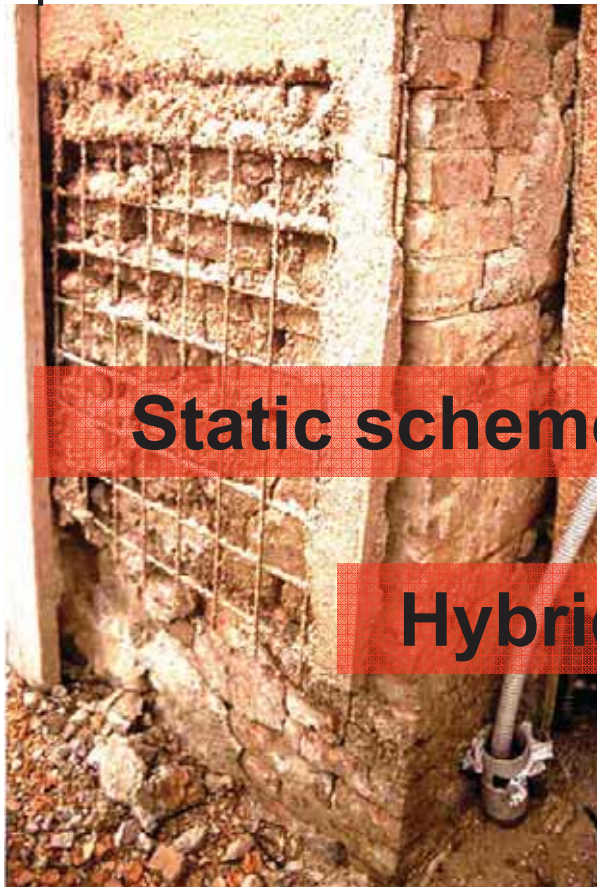
INTERACTION WITH PRE-EXISTING MATERIALS?

Preliminary laboratory tests to pre-qualify the most compatible product for a specific restoration work



INTRODUCTION

The recent earthquakes have shown the clear failure of the restoration works performed with the use of concrete materials. The original constructive characters of historical masonry buildings have been upset.



Static schemes not suitable for old structures

Hybrid mechanical behaviour

SUSTAINABLE AND DURABLE RESTORATION WORKS

- ✓ compatibility and durability
- ✓ integration and not alteration of the structure
- ✓ respect of conception and original techniques
- ✓ not much invasive
- ✓ reversible



The masonry buildings well upkept by means of effective techniques and materials characteristic of the same nature of historical factory have shown a great resistance to the seismic actions.



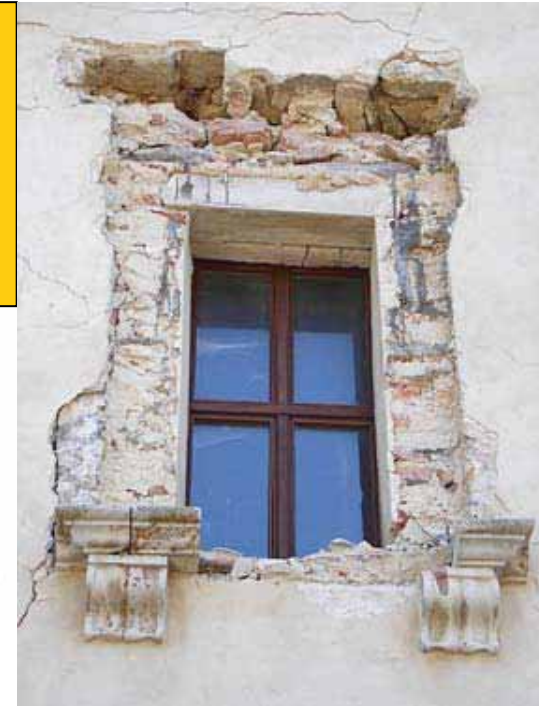
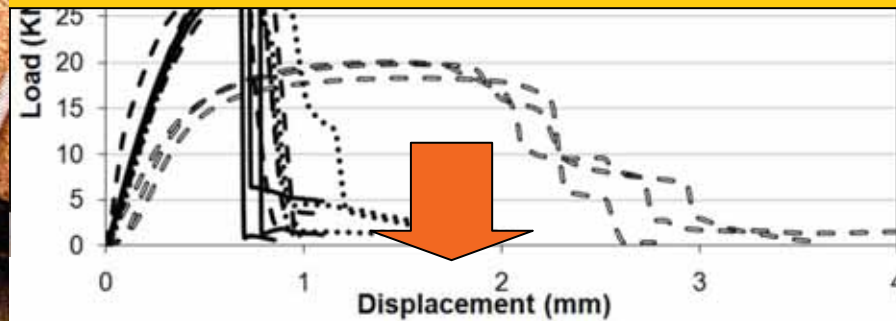
Today the restoration knowledge has finally understood the good effectiveness shown by the lighter and less invasive technologies.



The Non-Destructive Testing Laboratory - Politecnico di Torino



CHANGE IN THE TIME OF
MECHANICAL
CHARACTERISTICS IN SINGLE
MATERIAL



UNEXPECTED CHANGE IN THE TIME OF
MECHANICAL BEHAVIOUR AND COMPATIBILITY
IN STRENGTHENED MASONRY

The purpose of this research is to be used in laboratory tests as a preliminary design stage for structural interventions, in order to pre-qualify the strengthening mortars and be able to formulate **PROBLEMS OF DURABILITY** and long-term behaviour when applied to historical masonry walls

THE RESTORATION BUILDING SITE

 La Venaria Reale



The most significant restoration project in Europe



EXPERIMENTAL LABORATORY and IN SITU TESTS



The modern lime mortars have a composition similar to those historical and good mechanical characteristics. They can to strengthen the masonry structures through reinforcement of vaults or jacketing walls that don't result too much stiff compared to the same manufactured by concrete mortars.

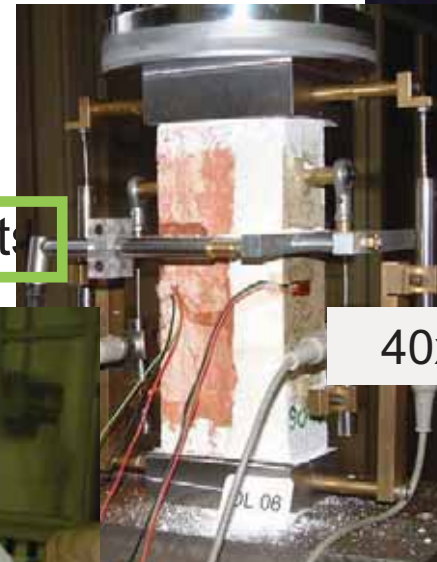
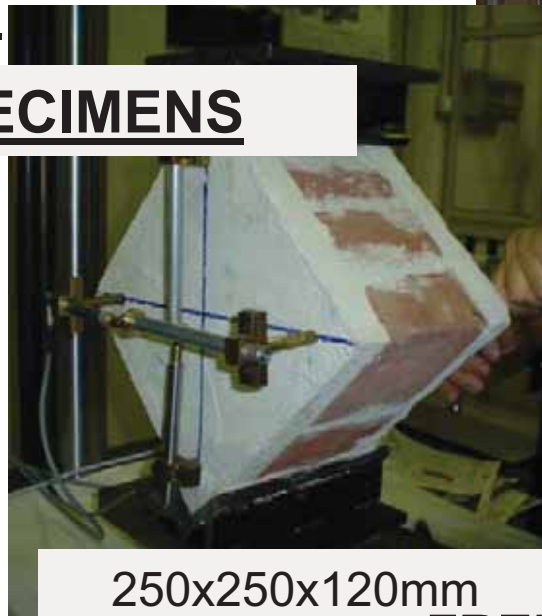
LABORATORY TESTS

1st stage: SINGLE MATERIALS and MIXED TEST PIECE

- Historical bricks from the Royal Palace of Venaria (LT);
- 4 types of strengthening mortars:
 - AM - reinforcement by structural plaster
 - BM - consolidation by grout injection
 - CM - reinforcement by structural plaster
 - DM - jacketing of walls or reinforcement of vaults

2nd stage: BRICKWORKS

3rd stage: MASONRY SPECIMENS



The choice of the most compatible mortar

STATIC TESTS
FREEZING-THAWING TESTS
CYCLIC LOADING TESTS

EXPERIMENTAL LABORATORY TESTS

1st stage: SINGLE MATERIALS and MIXED TEST PIECES

Static, cyclic loading and freezing-thawing tests are carried out on the single materials and on the first scale dimension mixed test pieces in order to study in small scale the interaction fatigue problems between strengthening mortar and historical bricks.

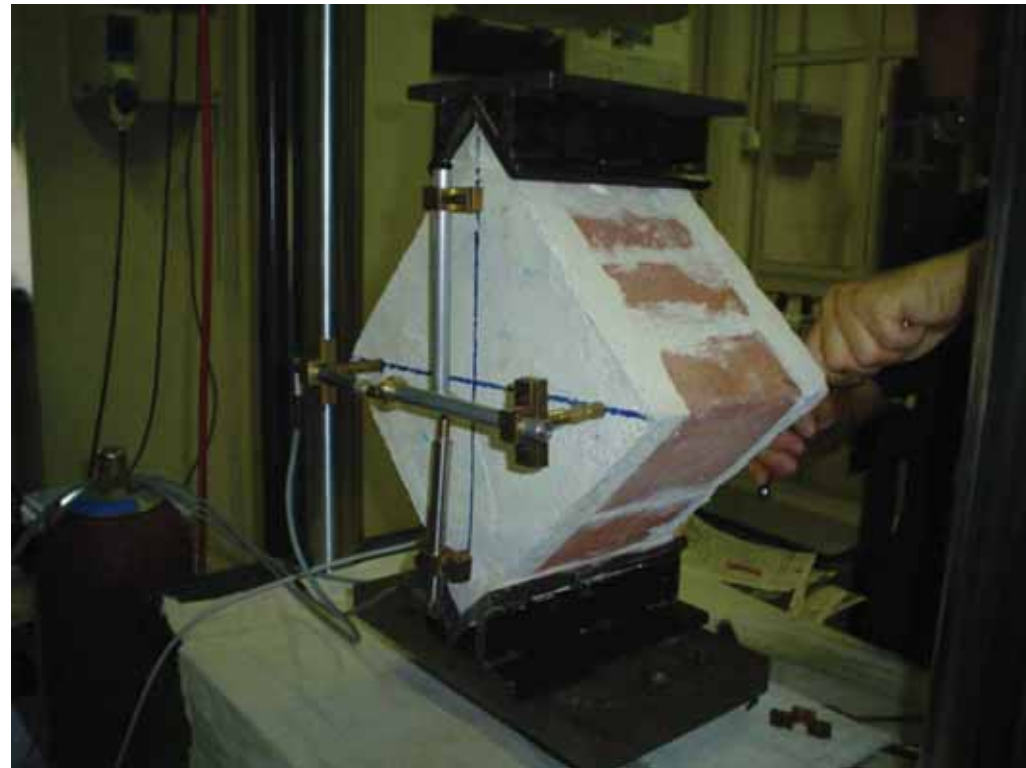


EXPERIMENTAL LABORATORY TESTS

2nd stage: BRICKWORKS

From the experimental results of the first stage, a typology of mortar is chosen to continue the experimental study through the brickworks. Static, cyclic loading and freezing-thawing tests are carried out by diagonal compressive test.

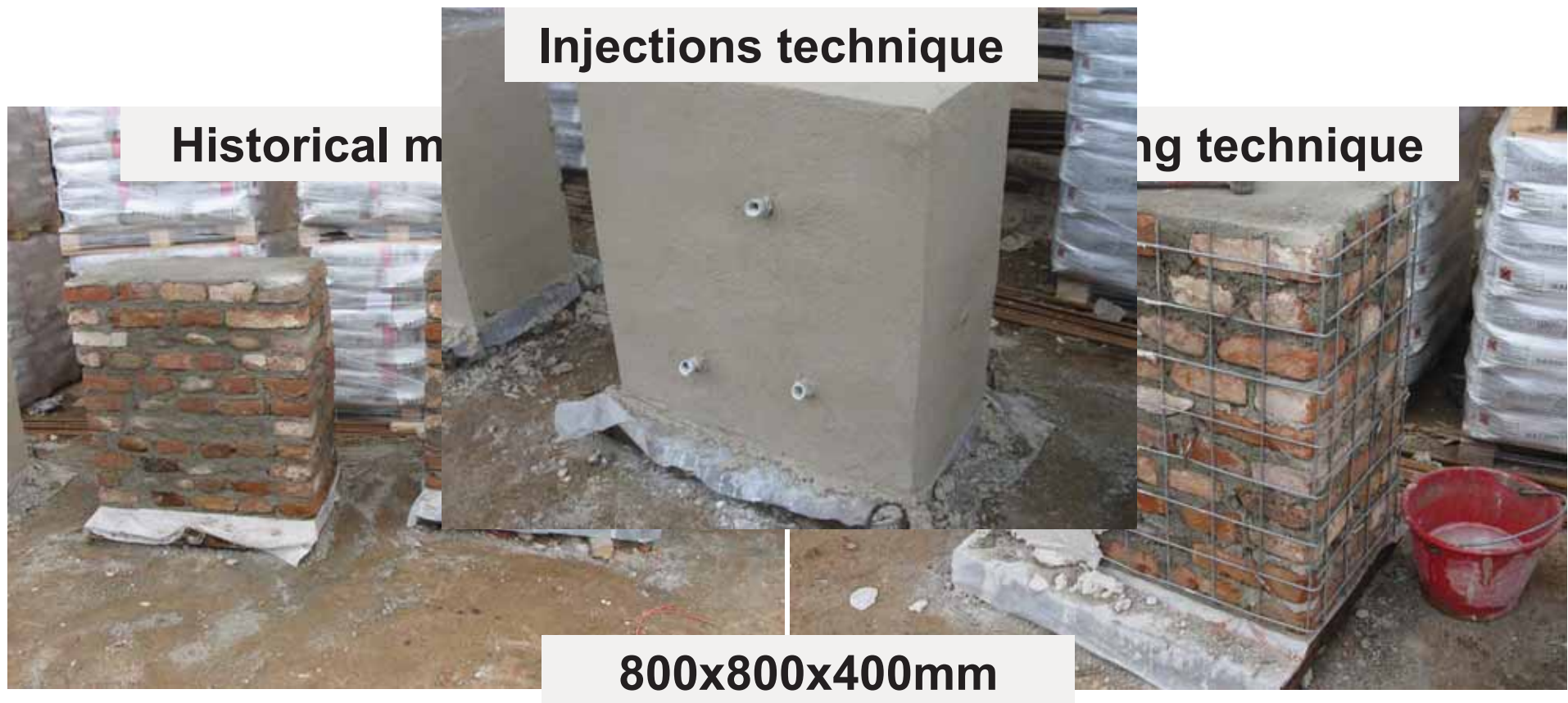
BRICKWORKS
250x250x120mm



EXPERIMENTAL LABORATORY TESTS

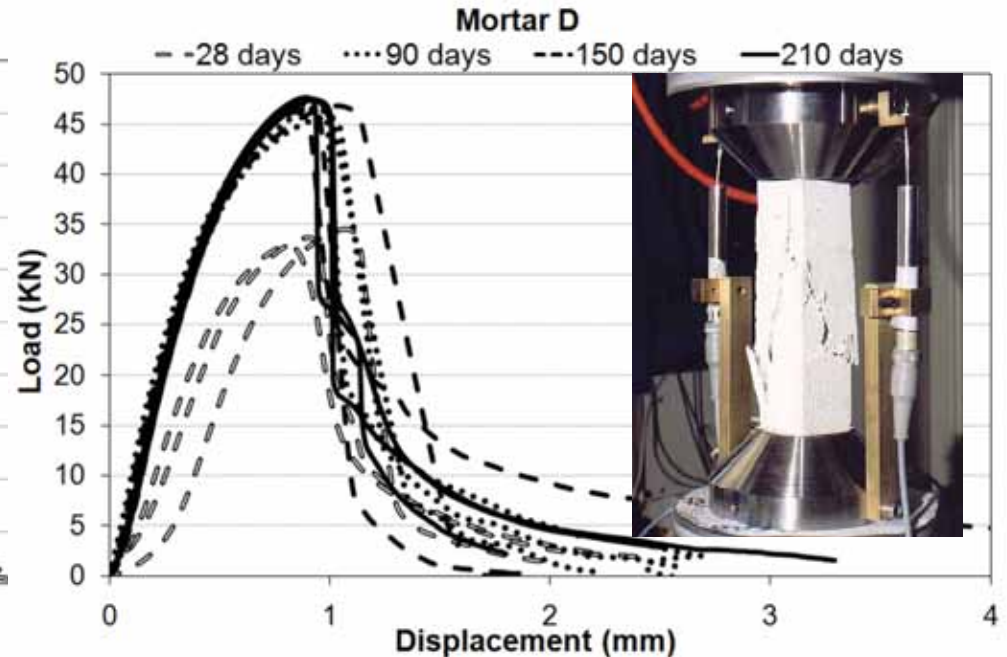
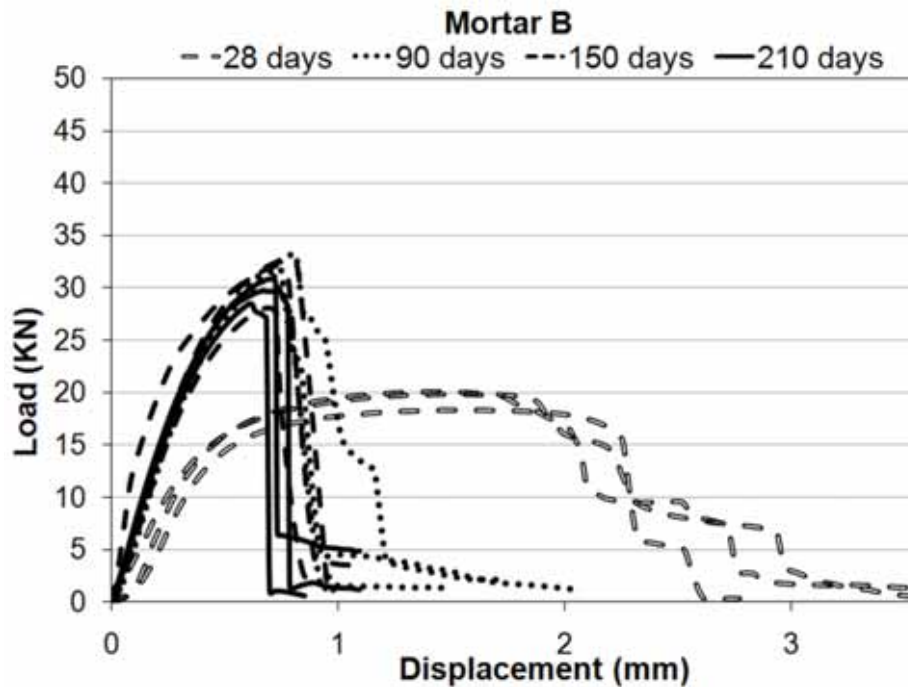
3rd stage: MASONRY SPECIMENS

The effectiveness of the same chosen strengthening mortar is analysed by means of static compressive test on the masonry specimens, in order to simulate in large scale the real behaviour of the jacketing technique.

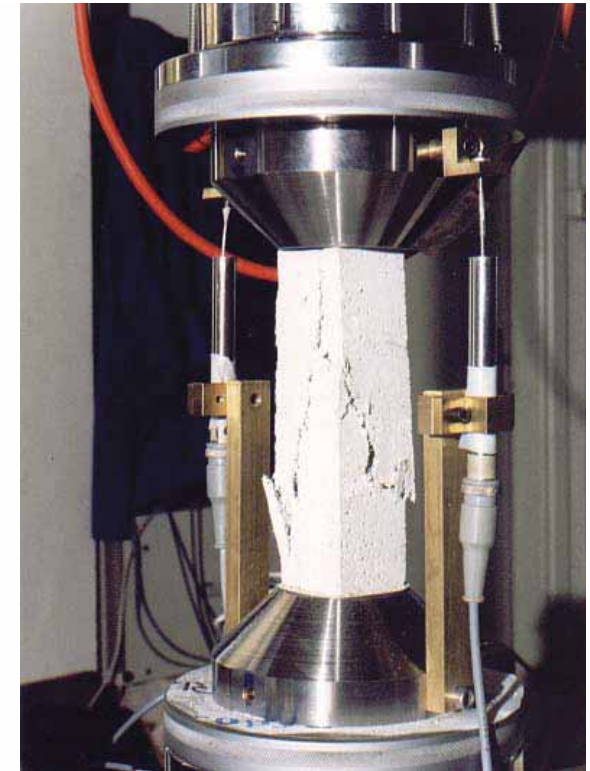
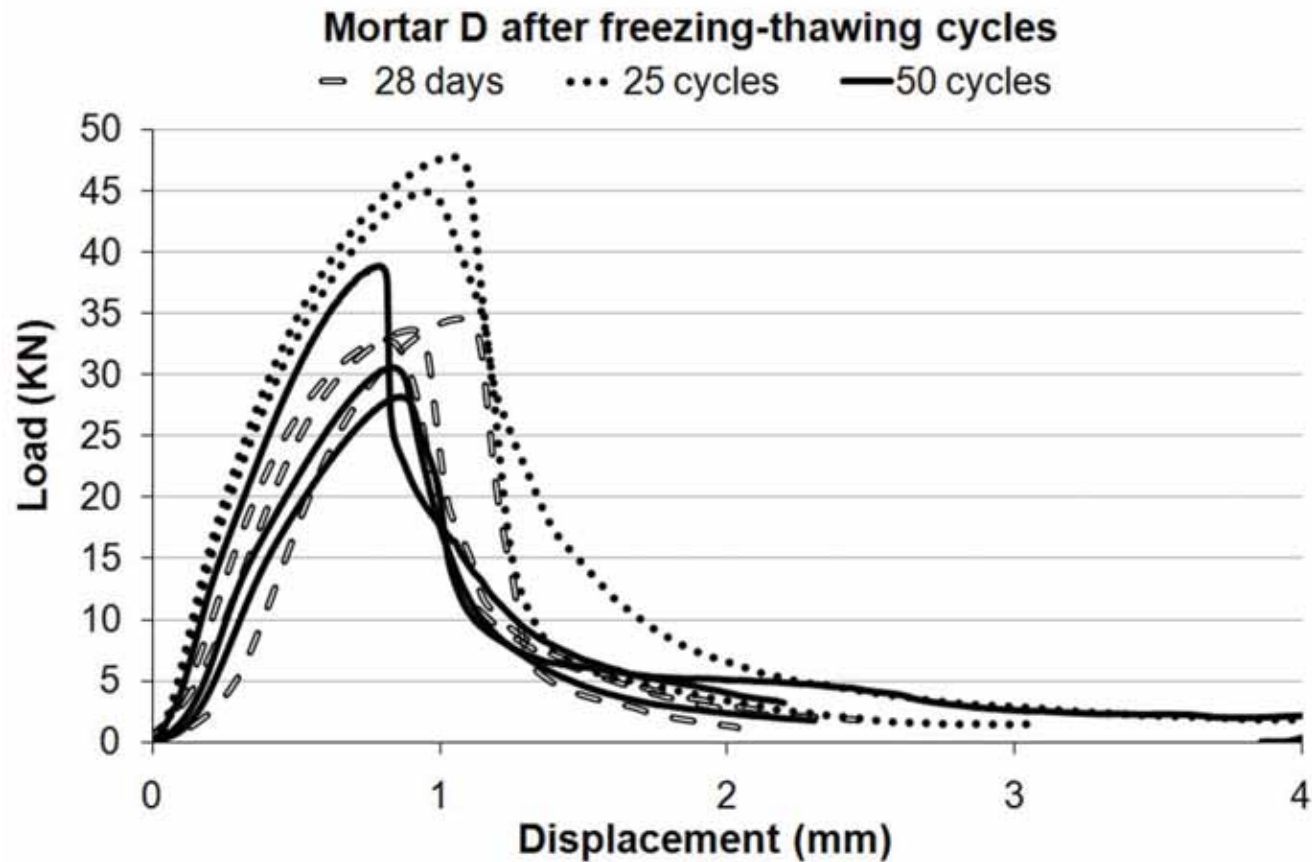


1st stage: SINGLE MATERIALS

| Material | E_{average} (N/mm ²) | ν_{average} | σ_{average} (N/mm ²) | $\Delta\% \sigma$ (6 months) |
|------------------|--|------------------------|---|---------------------------------|
| Mortar A | 6208 | 0.12 | 8.27 | -7.50 |
| Mortar B | 7534 | 0.19 | 10.91 | +111.55 |
| Mortar C | 12678 | 0.23 | 10.34 | +146.39 |
| Mortar D | 12274 | 0.32 | 24.95 | +57.47 |
| Historical Brick | 4099 | 0.08 | 8.09 | - |

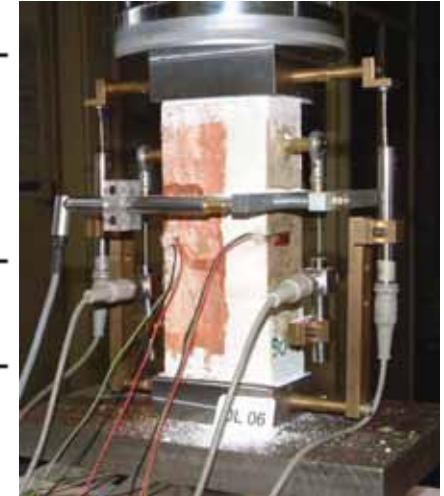


1st stage: SINGLE MATERIALS



1st stage: MIXED TEST PIECES

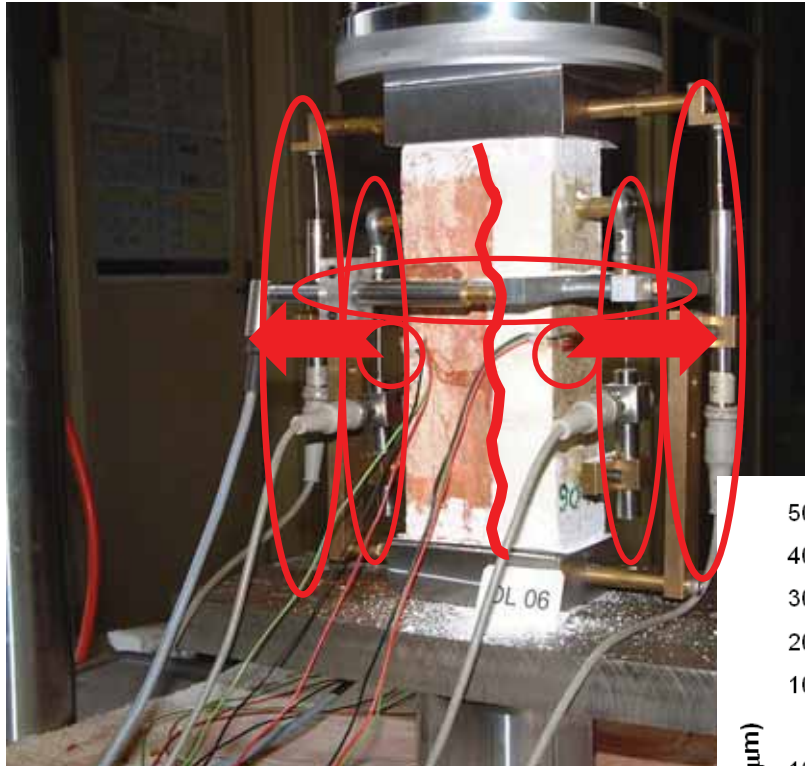
| Series | Test piece | P_{max} (KN) | σ_{max} (N/mm ²) | $\sigma_{average}$ (N/mm ²) | E (N/mm ²) |
|--------|------------|----------------|-------------------------------------|---|------------------------|
| AL | AL02 | 102.75 | 19.30 | 15.40 | 11988 |
| | AL04 | 59.76 | 11.49 | | 14157 |
| BL | BL01 | 108.51 | 22.17 | 16.89 | 16940 |
| | BL02 | 52.30 | 11.60 | | 4400 |
| CL | CL01 | 40.78 | 9.71 | 12.58 | 6597 |
| | CL02 | 76.98 | 15.46 | | 12478 |
| DL | DL01 | 58.50 | 12.10 | 12.04 | 6191 |
| | DL02 | 60.45 | 11.98 | | 8106 |



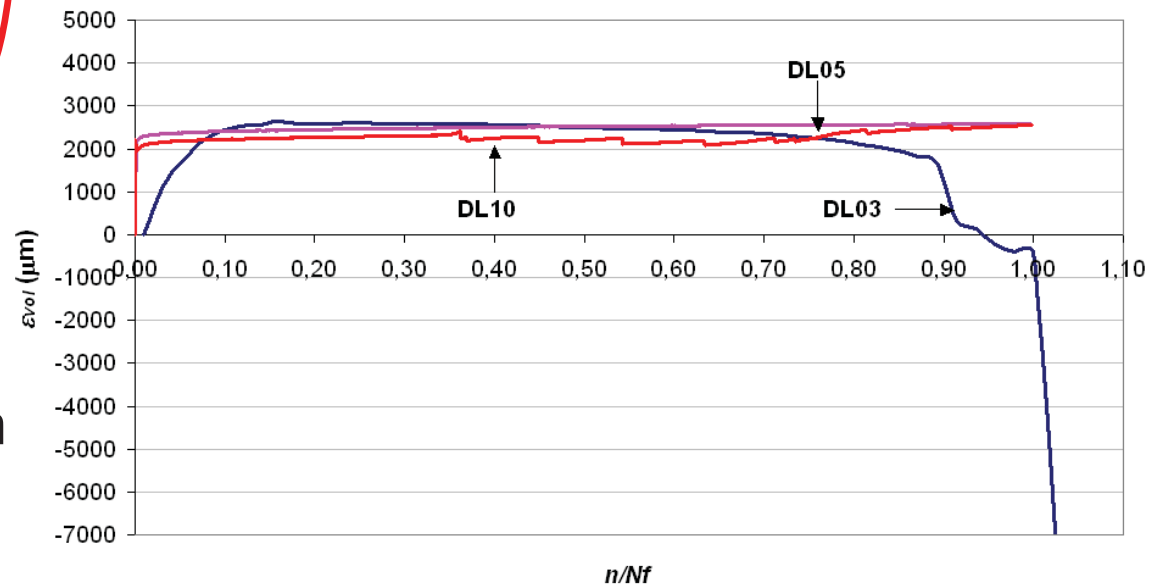
| Series | Test piece | Condition | P_{max} (KN) | σ_{max} (N/mm ²) | $\sigma_{average}$ (N/mm ²) | $\Delta\sigma$ % | E (N/mm ²) |
|--------|------------|-----------|----------------|-------------------------------------|---|------------------|------------------------|
| AL | AL03 | cracked | 95.54 | 19.78 | 15.88 | +3.15 | 10050 |
| | AL06 | detached | 81.00 | 15.83 | | | 8151 |
| | AL08 | detached | 59.30 | 12.03 | | | 6701 |
| BL | BL07 | cracked | 76.30 | 14.23 | 13.88 | -17.81 | 6250 |
| | BL10 | cracked | 66.50 | 13.52 | | | 6582 |
| CL | CL06 | whole | 104.50 | 19.92 | 15.52 | +18.25 | 10604 |
| | CL08 | whole | 54.62 | 11.13 | | | 7191 |
| DL | DL08 | whole | 107.40 | 21.52 | 22.87 | +89.93 | 35358 |
| | DL07 | whole | 129.30 | 24.22 | | | 16249 |

1st stage: MIXED TEST PIECES

Cyclic tests 70% of the static load – 100000 cycles

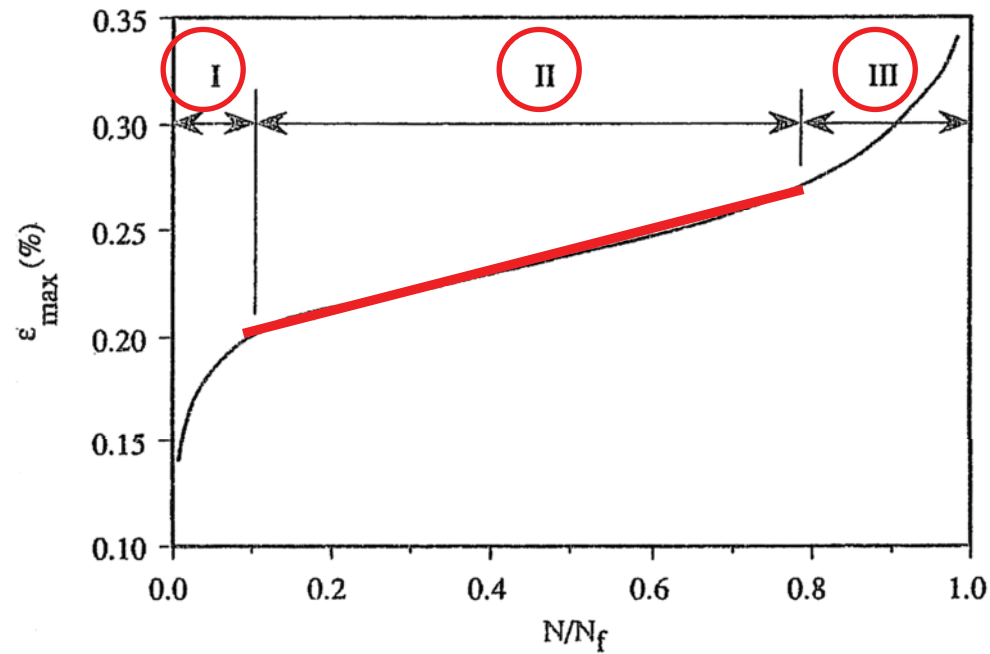


- initial 70% loading-unloading test;
- 70% cyclic test (100000 cycles);
- final 70% loading-unloading test;
- post-cyclic compression test to failure



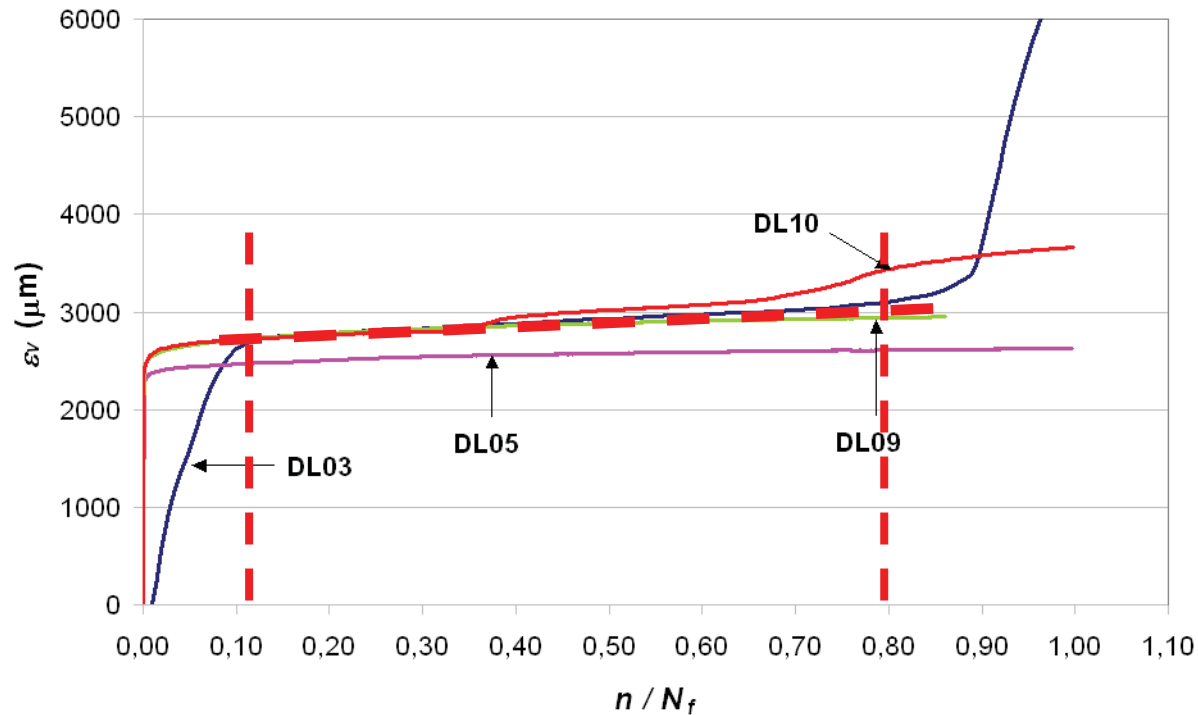
Volumetric deformation

1st stage: MIXED TEST PIECES



TALIERCIO, GOBBI (1996) – MINH-TAN et al. (1993) – MU, SHAH (2005)

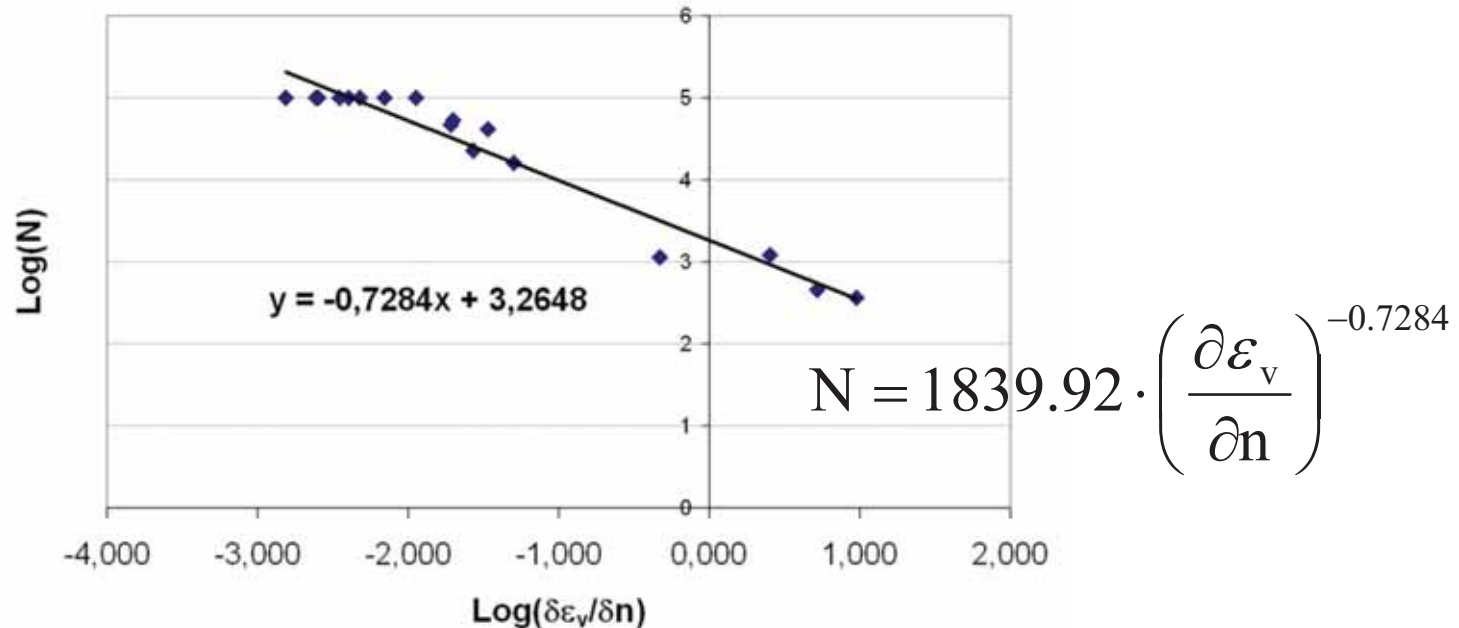
1st stage: MIXED TEST PIECES



By analogy with the method suggested for concrete (Taliercio and Gobbi 1996), the evolution of vertical deformations over time is analysed as the primary parameter for predicting and quantifying the fatigue strength of the material.

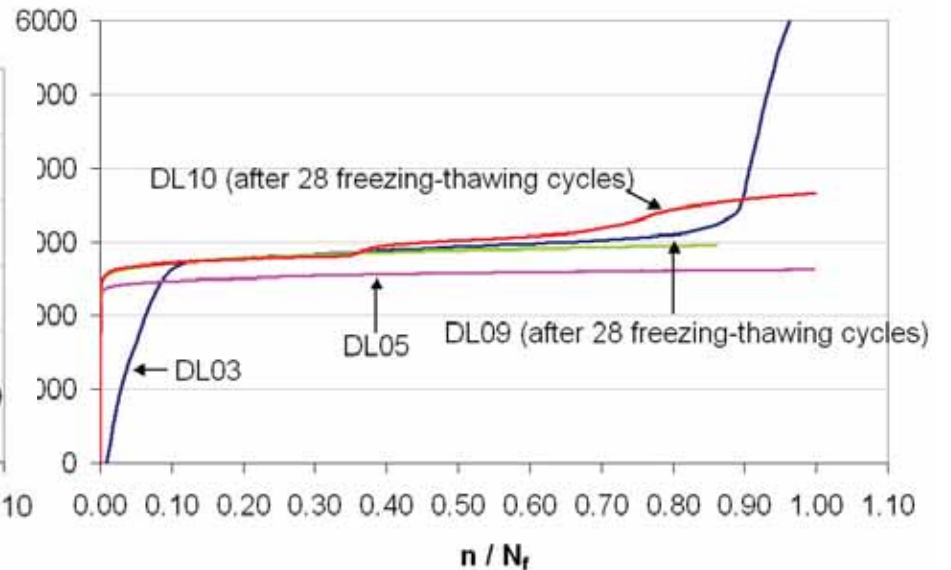
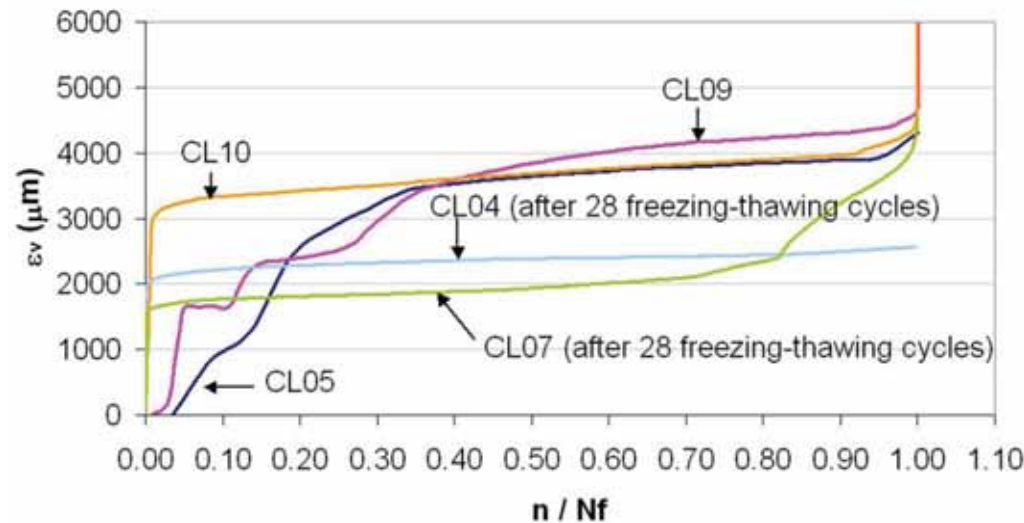
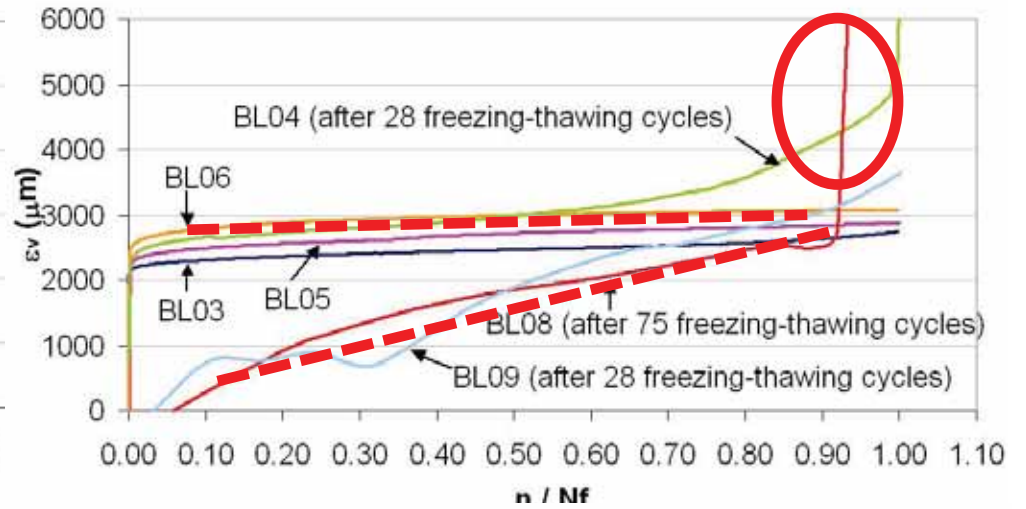
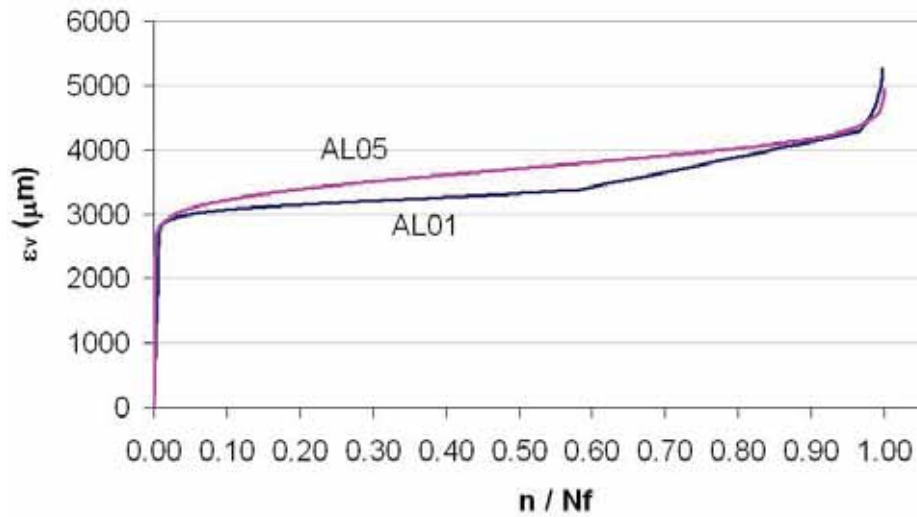
Through linear interpolation between the 20% and 80% deformation values (secondary creep), the $\partial\varepsilon_v/\partial n$ derivatives were worked out.

1st stage: MIXED TEST PIECES



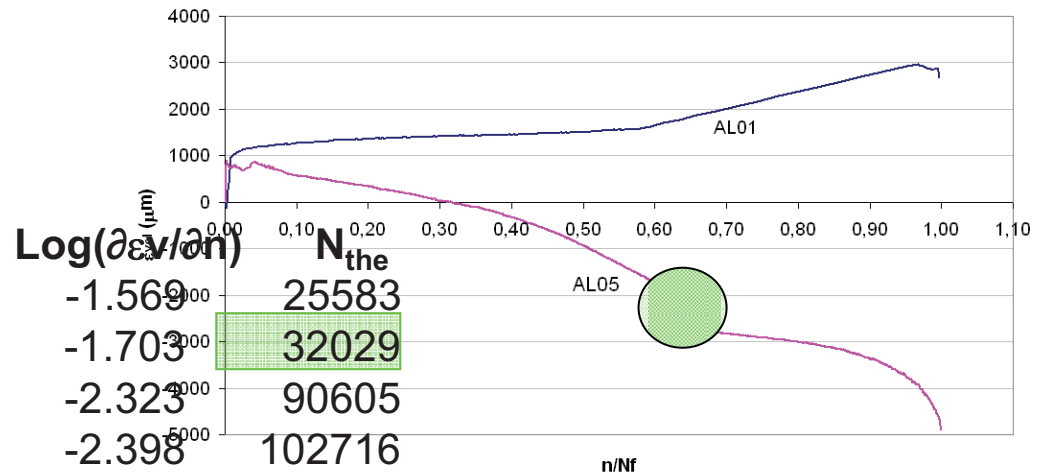
A valid correlation was established between secondary creep rate ($\partial \varepsilon_v / \partial n$) during stage II and fatigue life (number of cycles to failure, N). By performing a number of cycles on a consistent number of masonry specimens, it is possible to predict fatigue life.

1st stage: MIXED TEST PIECES Cyclic tests

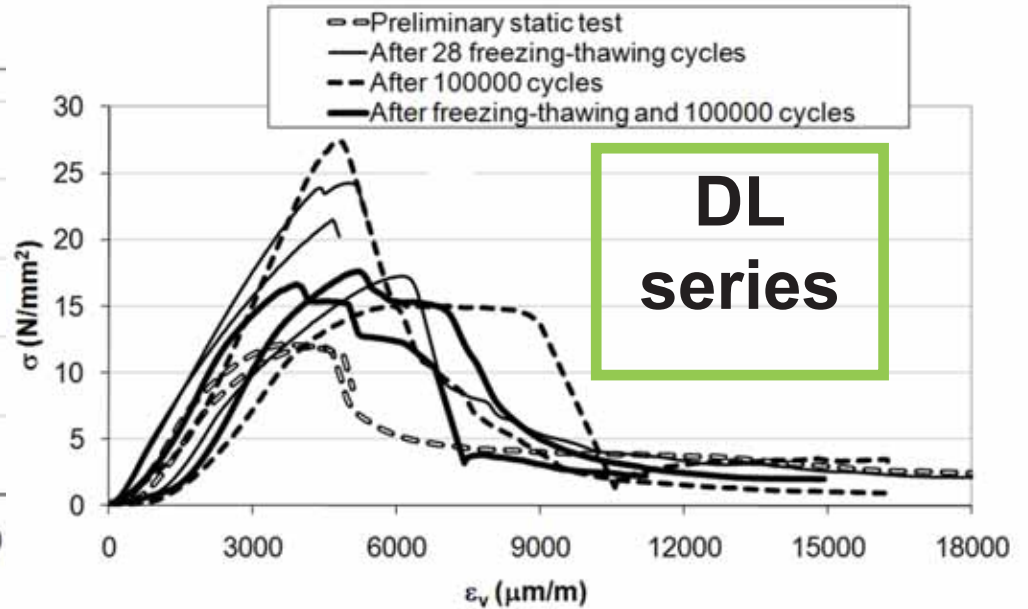
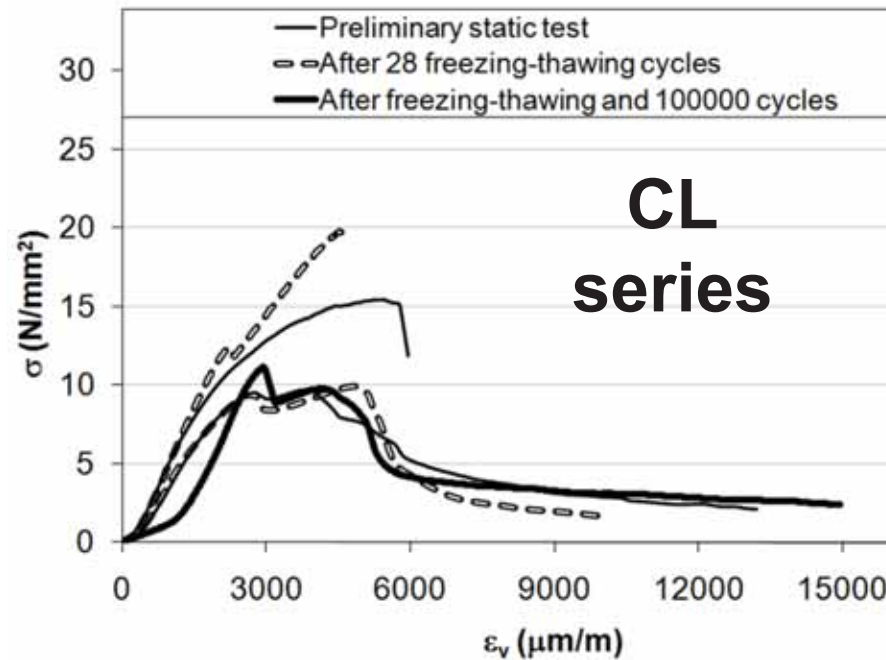
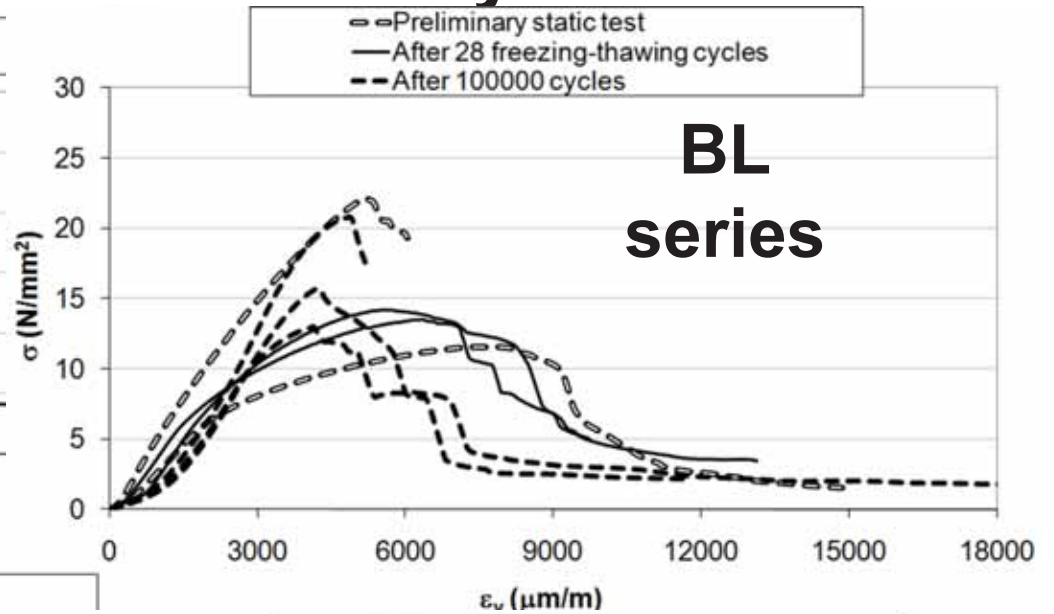
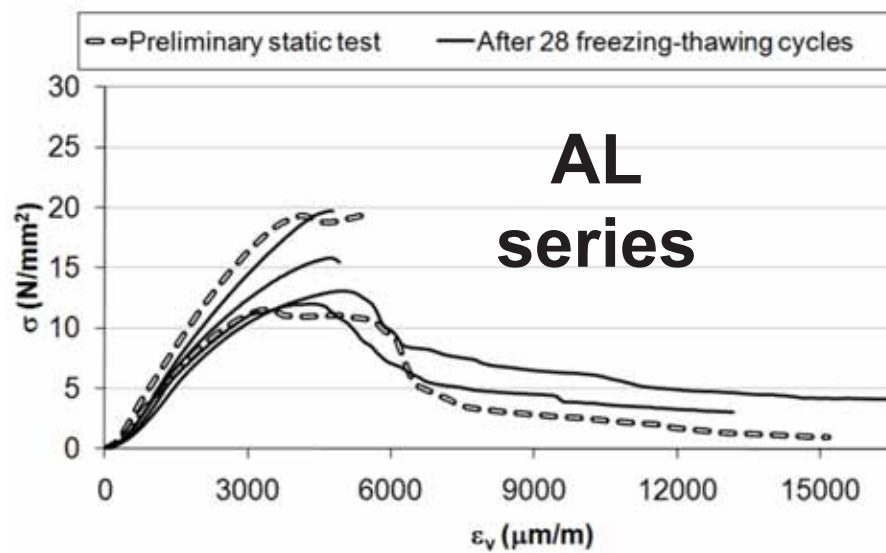


1st stage: MIXED TEST PIECES Cyclic tests

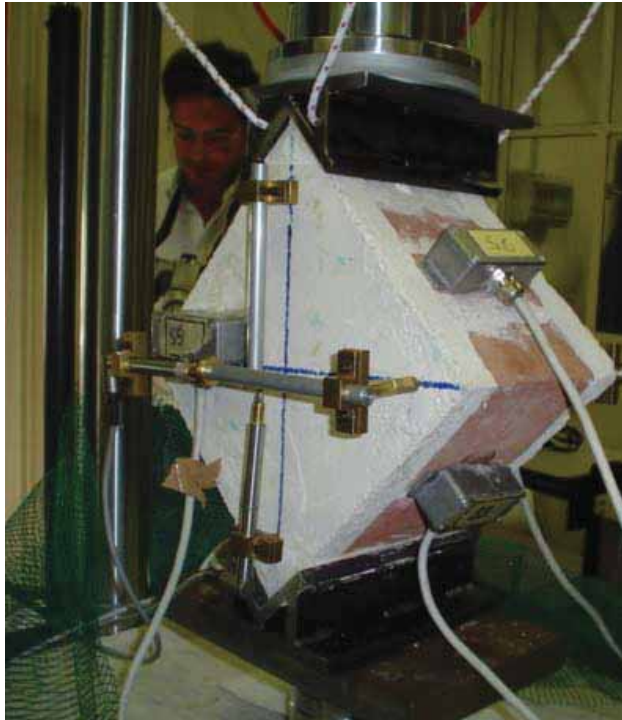
| Test piece | n | $\partial \epsilon_v / \partial n$ | LogN | $\text{Log}(\partial \epsilon_v / \partial n)$ | N_{the} |
|------------|--------|------------------------------------|-------|--|-----------|
| AL01 | 22380 | 0.0270 | 4.350 | -1.569 | 25583 |
| AL05 | 53465 | 0.0198 | 4.728 | -1.703 | 32029 |
| BL03 | 100000 | 0.0047 | 5.000 | -2.323 | 90605 |
| BL05 | 100000 | 0.0040 | 5.000 | -2.398 | 102716 |
| BL06 | 100000 | 0.0024 | 5.000 | -2.612 | 147056 |
| CL05 | 461 | 5.1818 | 2.664 | 0.714 | 555 |
| CL09 | 1223 | 2.5110 | 3.087 | 0.400 | 941 |
| CL10 | 15835 | 0.0501 | 4.200 | -1.300 | 16294 |
| DL03 | 1149 | 0.4704 | 3.060 | -0.328 | 3187 |
| DL05 | 100000 | 0.0015 | 5.000 | -2.813 | 206028 |
| DL06 | 100000 | 0.0070 | 5.000 | -2.155 | 68328 |
| BL04 | 40993 | 0.0340 | 4.613 | -1.469 | 21612 |
| BL09 | 360 | 9.4729 | 2.556 | 0.976 | 358 |
| CL04 | 100000 | 0.0035 | 5.000 | -2.454 | 112832 |
| CL07 | 46622 | 0.0192 | 4.669 | -1.717 | 32795 |
| DL09 | 100000 | 0.0025 | 5.000 | -2.594 | 142671 |
| DL10 | 100000 | 0.0113 | 5.000 | -1.947 | 48171 |



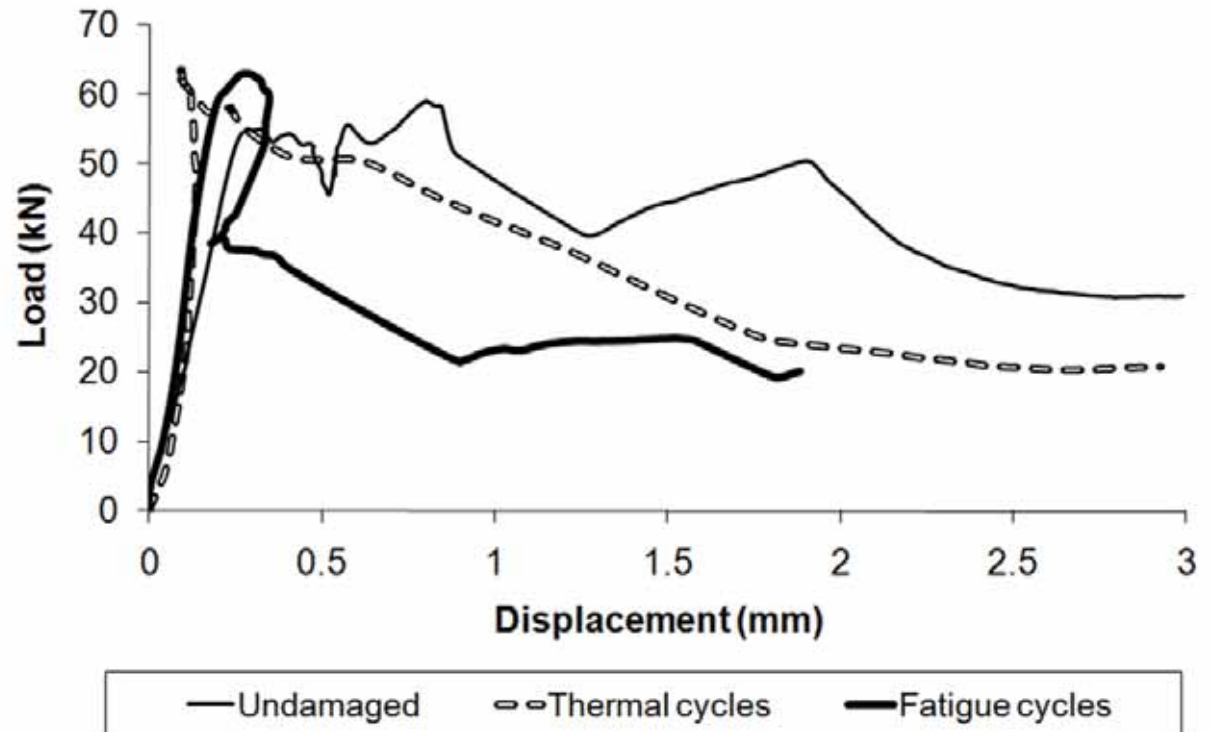
1st stage: MIXED TEST PIECES Cyclic tests



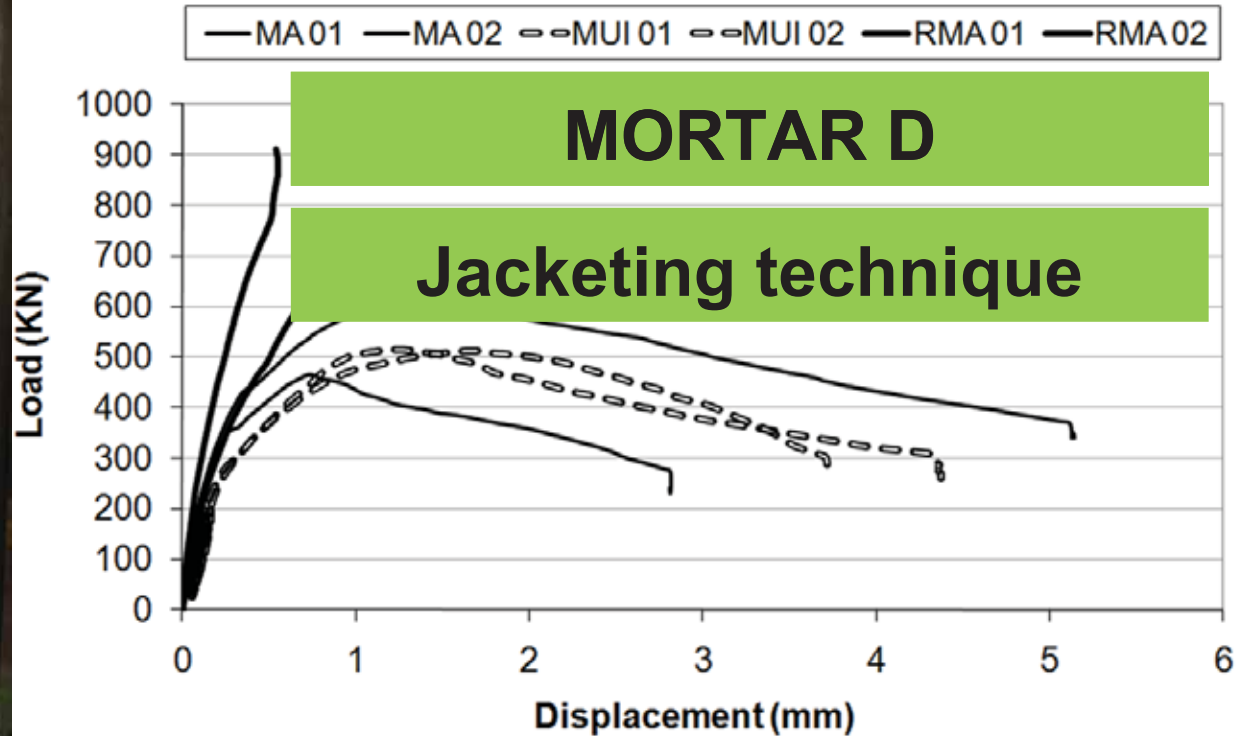
2nd stage: BRICKWORKS



MORTAR D



3rd stage: MASONRY SPECIMENS



| Specimen | Typology | P _{max} (KN) | P _{average} (KN) | E (N/mm ²) | E _{average} (N/mm ²) | K (N/mm) | K _{average} (N/mm) |
|----------|-----------------------------|-----------------------|---------------------------|------------------------|---|----------|-----------------------------|
| MA 01 | Historical masonry | 600.69 | 532.37 | 7062 | 7147 | 1126705 | 1117404 |
| MA 02 | Historical masonry | 464.04 | | 7231 | | 1108102 | |
| MUI 01 | Injected masonry | 515.95 | 514.05 | 4913 | 4435 | 1287808 | 1283092 |
| MUI 02 | Injected masonry | 512.14 | -3.44% | 3956 | -37.95% | 1278376 | +14.83% |
| RMA 01 | jacketing walls | 769.75 | 869.04 | 5931 | 6940 | 1099971 | 1306238 |
| RMA 02 | jacketing walls | 968.33 | +63.24% | 7948 | -2.90% | 1512505 | +16.90% |

CONCLUSIONS

The experimental procedure has allowed to select the most compatible and durable restoration product and technique for the strengthening works. From a range of alternatives, tested in laboratory through fatigue tests, a mortar, suitable for the jacketing technique, have shown to possess constant mechanical performances in the time under different mechanics and termo-higrometric stress.

The evolution in the time of the mechanical characteristics, due to maturation, thermo-hygrometric and fatigue loading condition has been investigated through static, cyclic loading and freezing-thawing tests on different reinforced masonry specimens.

The methodology is useful to identify a number of key parameters for interpreting the fatigue behaviour of historical brick-strengthening mortar system, in order to avoid the errors associated with materials that are not mechanically compatible and to guarantee the durability of strengthening works.

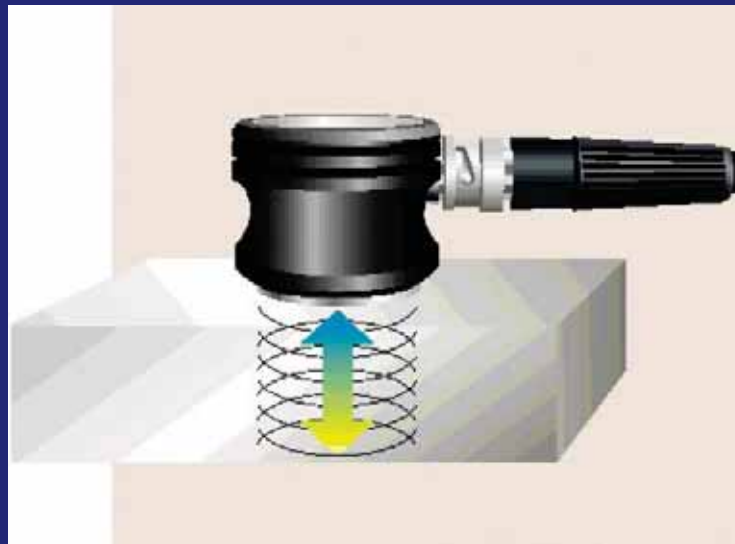
P. Antonaci, P. Bocca, D. Masera

Department of Structural Engineering and Geotechnics, Politecnico di Torino

Corso Duca degli Abruzzi 24 - 10129 Torino, Italy

Eng. Davide MASERA, PhD

ANALISI LINEARI DEL DANNEGGIAMENTO DEI MATERIALI CON L'UTILIZZO DI TECNICHE ULTRASONICHE



Giornata Seminariale progetto

RE-FRESCOS

Politecnico di Torino – 1 Luglio 2010

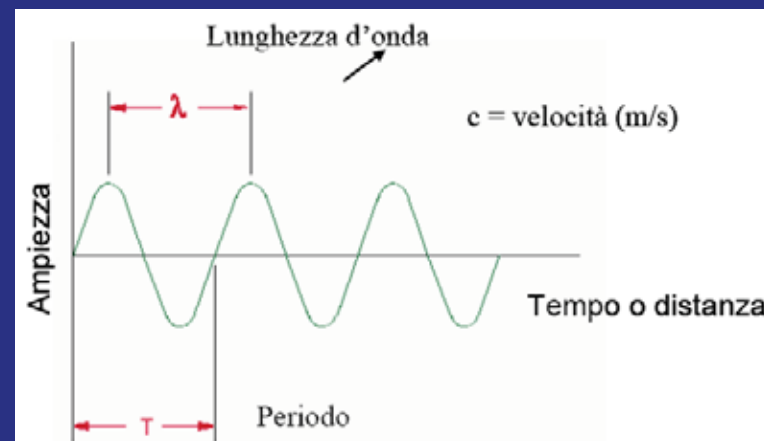
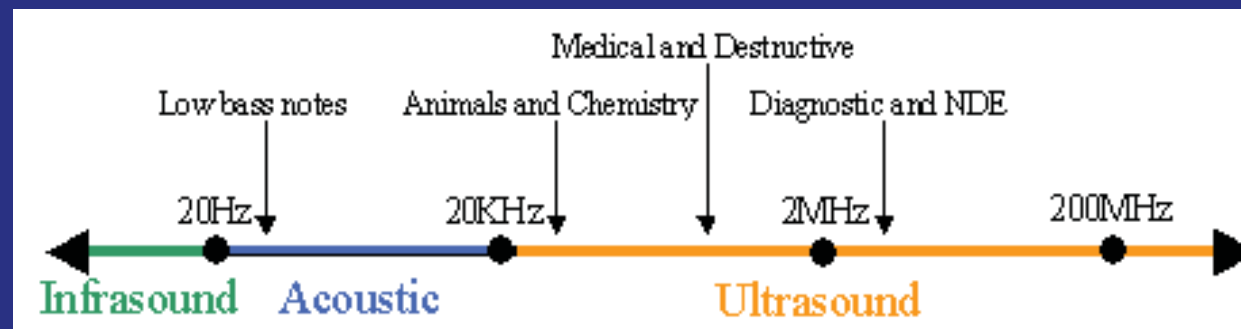
OUTLINE



1. INTRODUZIONE
2. PRINCIPALI APPLICAZIONI
3. TECNICHE DI ISPEZIONE
4. CONCLUSIONI

INTRODUZIONE: LE ONDE ULTRASONICHE

Gli ultrasuoni sono delle onde meccaniche sonore. A differenza dei fenomeni acustici propriamente detti le frequenze che caratterizzano gli ultrasuoni sono superiori a quelle mediamente udibili da un orecchio umano. La frequenza convenzionalmente utilizzata per discriminare onde soniche da onde ultrasoniche è fissata in 20 kHz. Lo stesso termine ultrasuono chiaramente indica ciò che è al di là (ultra) del suono, identificando con suono solo il fenomeno fisico udibile.



INTRODUZIONE: LE ONDE ULTRASONICHE

Le prove ultrasoniche si basano sulla misura e sull'analisi delle caratteristiche di propagazione delle onde ultrasoniche

PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

Come per le onde soniche se il mezzo è omogeneo ed isotropo si hanno due tipi di onde:

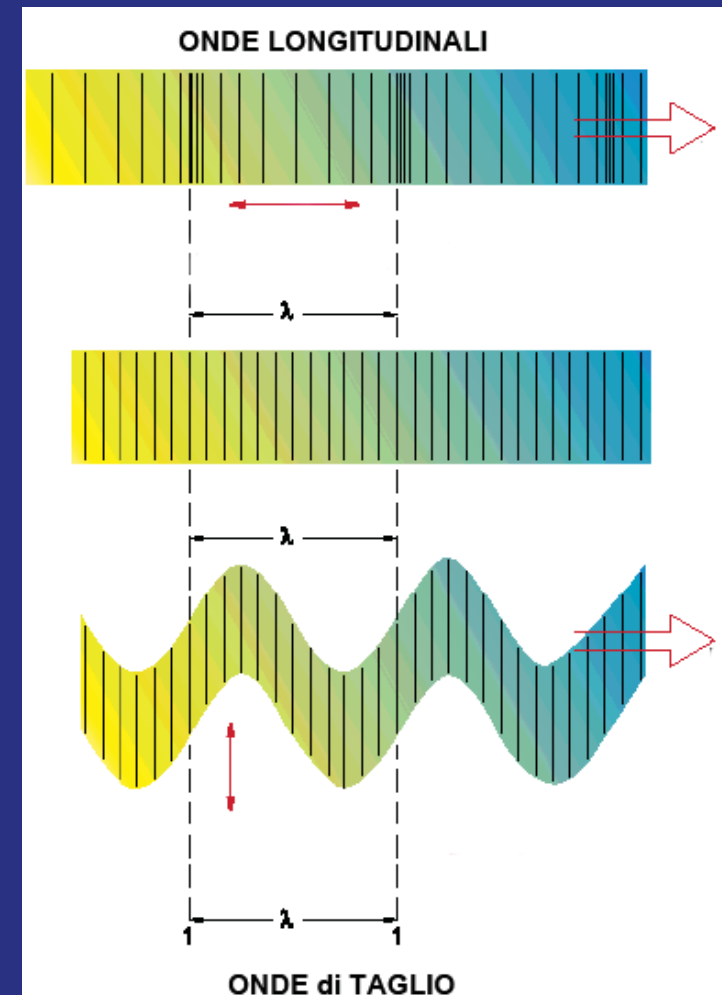
- *di compressione*
- *di taglio*

dotate di capacità di propagazione su lunghe distanze.

Al contrario delle onde soniche non si propagano nei gas dai quali sono riflesse e rifratte entrambe però possono essere trasmesse, anche per lunghe distanze, attraverso i liquidi e i solidi.

È questa la proprietà che viene sfruttata per individuare discontinuità o per misurare lo spessore di strati.

Infatti in presenza di una cavità, l'onda viene quasi completamente riflessa.



Le principali applicazioni delle prove ultrasoniche per calcestruzzi e acciai sono:

- *il grado di omogeneità;*
- *la presenza di vuoti, lesioni o discontinuità delle strutture;*
- *il valore del modulo elastico;*
- *la resistenza dei calcestruzzi (metodo combinato ultrasuoni - sclerometro) con una precisione di $\pm 15\%$.*

TECNICHE DI ISPEZIONE: IL METODO DELLE VELOCITA'

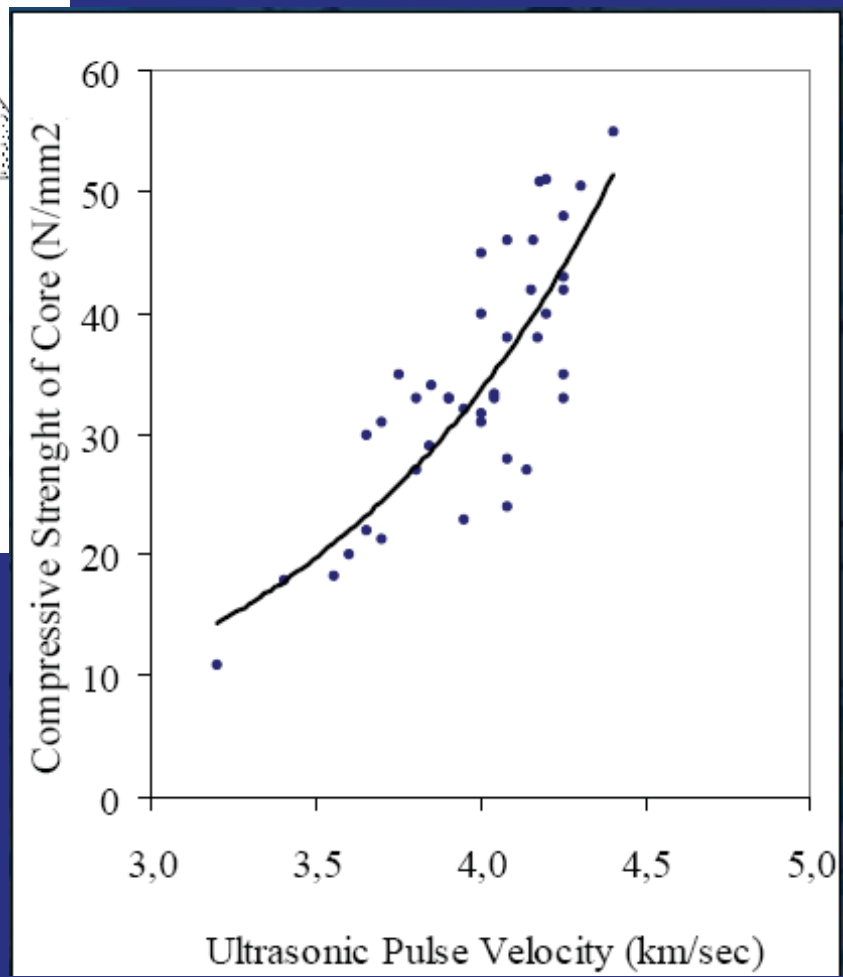
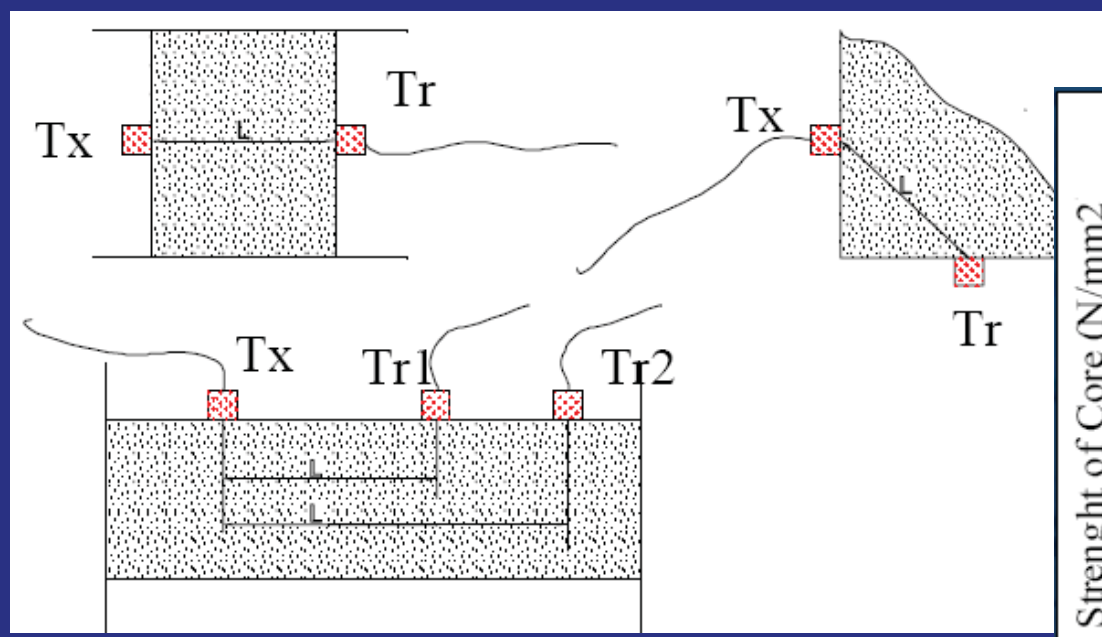
Le prove ultrasoniche permettono la stima della resistenza meccanica del materiale.

Infatti la resistenza meccanica di un materiale è correlata al valore del modulo di Young del materiale che a sua volta è correlato alla velocità di propagazione delle onde ultrasoniche.

Il valore della velocità delle onde viene calcolato misurando il tempo T che le onde emesse dalla sonda emittente impiegano ad arrivare a quella ricevente e lo spessore L del calcestruzzo interposto fra le due sonde.

TECNICHE DI ISPEZIONE: IL METODO DELLE VELOCITA'

A seconda della disposizione delle sonde si hanno le seguenti misure ultrasoniche:

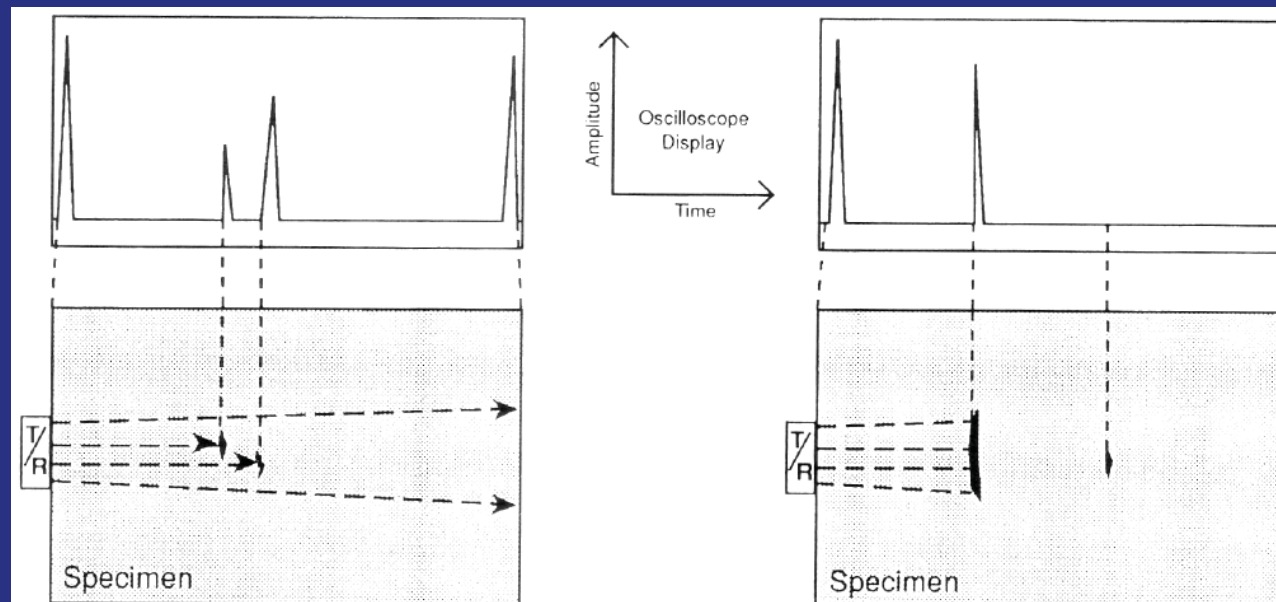
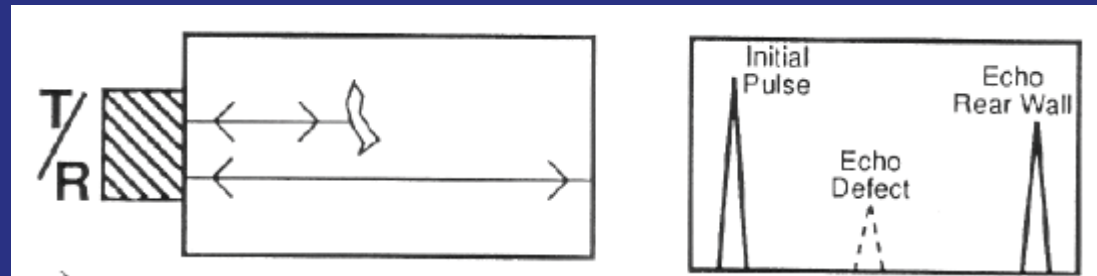


• UNI EN 12504-4: Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 4: Determinazione della velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici

TECNICHE DI ISPEZIONE: PULSE-ECHO

Tecniche "pulse-echo" (o "eco-impulso", "in riflessione")

Le onde ultrasoniche investono il pezzo da testate, penetrano in esso e vengono riflesse e rifratte dalle superfici che delimitano il componente stesso. Sono proprio le riflessioni interne (eco) che vengono esaminate e forniscono informazioni sulla presenza di eventuali difetti nel pezzo.



TECNICHE DI ISPEZIONE: METODO SONREB

3

Per ridurre gli errori commessi con le prove ultrasoniche e sclerometriche è stato sviluppato il metodo combinato SONREB (SONic + REBound = ultrasuoni + sclerometro).

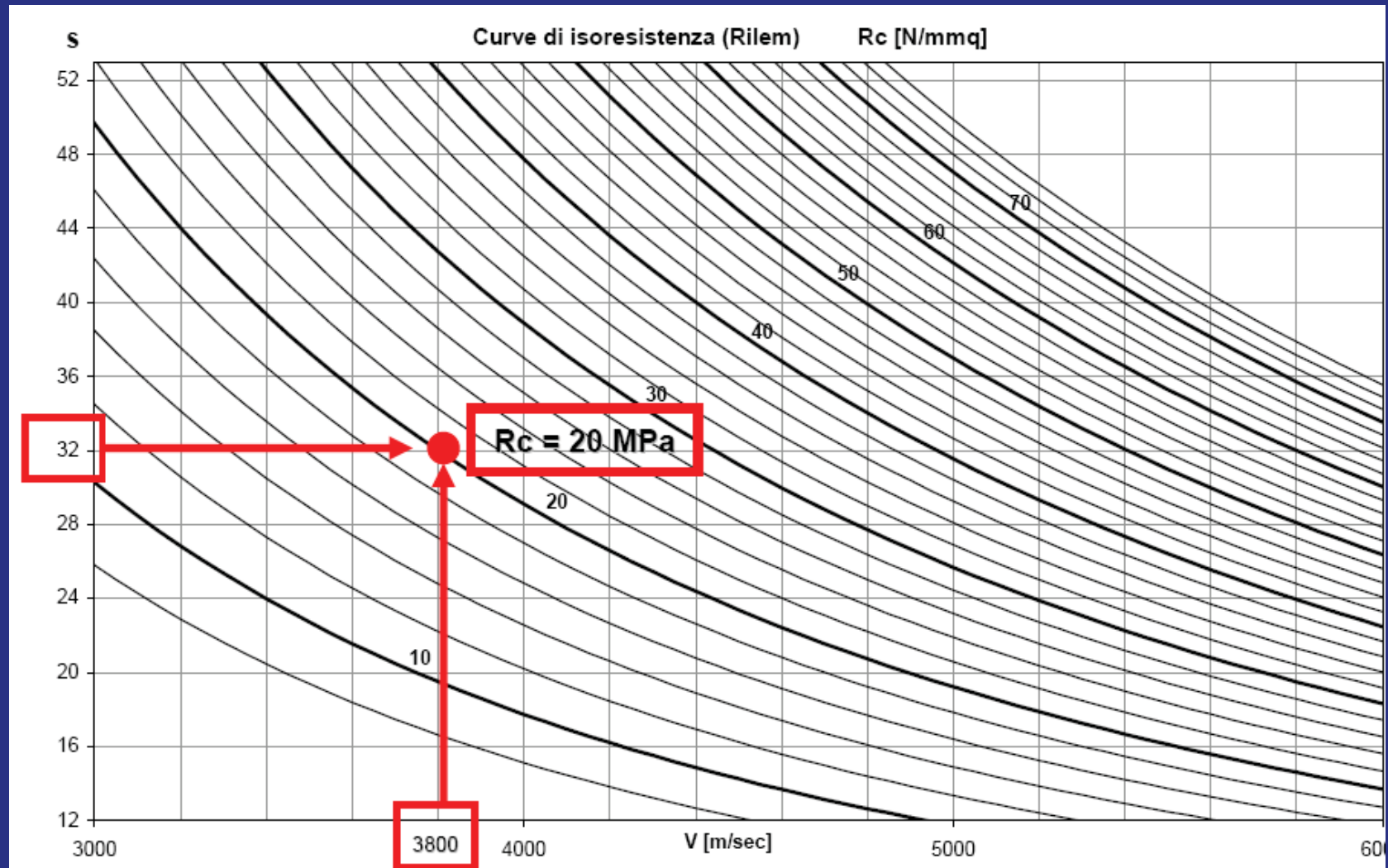
Si è infatti notato che il contenuto di umidità fa sottostimare l'indice sclerometrico e sovrastimare la velocità ultrasonica, e che, all'aumentare dell'età del calcestruzzo, l'indice del sclerometrico aumenta mentre la velocità ultrasonica diminuisce.

L'uso combinato delle due prove consente quindi di compensare in parte gli errori commessi usando singolarmente le due metodologie. L'applicazione del metodo Sonreb richiede la valutazione dei valori locali della velocità ultrasonica V e dell'indice di rimbalzo e S , a partire dai quali è possibile ottenere la resistenza del calcestruzzo R_c mediante espressioni del tipo:

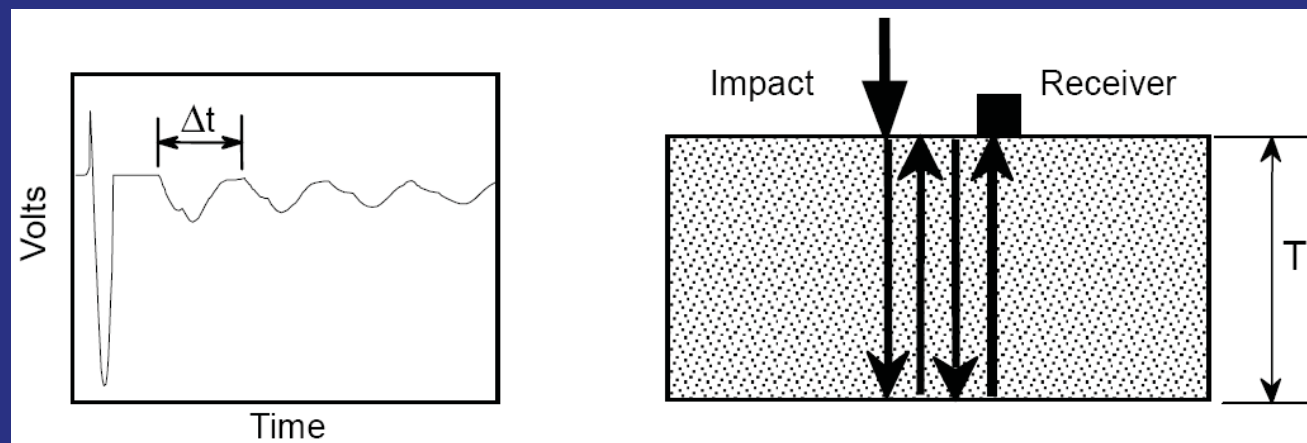
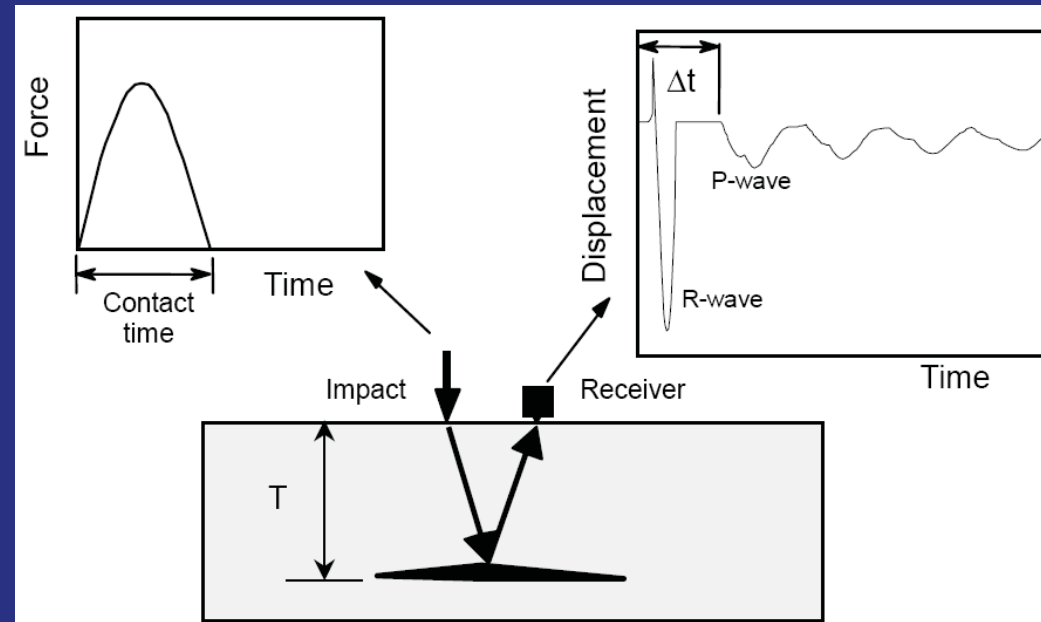
$$R_c = a \times S_b \times V_c$$

TECNICHE DI ISPEZIONE: METODO SONREB

3.



METODI DI ISPEZIONE: IMPACT-ECHO



$$\Delta t = \frac{2T}{C_{pp}}$$

$$f = \frac{1}{\Delta t} = \frac{C_{pp}}{2T} \quad C_p = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}}$$

- 1. Il metodo ultrasonico rappresenta nell'ambito delle prove non distruttive uno dei metodi maggiormente utilizzati e maggiormente affidabili nella lettura e nell'interpretazione dei risultati. Esiste inoltre una normativa nazionale/internazionale che prende in considerazione alcune delle metodologie presentate.**
- 2. Si sono presentate le principali tecniche ultrasoniche maggiormente usate per la caratterizzazione dei materiali: risultano essere semplici e di immediato impiego.**
- 3. I metodi presentati risultano essere di tipo lineare: possono essere usati come primo approccio per la conoscenza del materiale, per la sua caratterizzazione affinando poi così le conoscenze con i metodi non-lineari.**

Prove meccaniche accelerate di distacco dell'intonaco dalla muratura

P. Bocca S. Valente

Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, Politecnico di Torino

Riunione di coordinamento del progetto Re-Frescos
1 Luglio 2010, Politecnico di Torino



Schema della presentazione

Introduzione

Perche' prove accelerate ?

La crescita sub-critica della frattura per fatica

Il problema analizzato in fase elastica lineare

Il modello non-lineare della frattura coesiva

Conclusioni



Introduzione

- ▶ Poiche' l'intonaco e' uno **strato sottile** , a diretto contatto con l'aria, esso e' soggetto al **ciclo termico** giornaliero ed alle variazioni di **umidita' relativa**.
- ▶ Se l'intonaco fosse libero, esso si dilaterrebbe in fase di riscaldamento e si contrarrebbe in fase di raffreddamento. La variazione di umidita' genera un fenomeno analogo.
- ▶ La muratura, essendo protetta dall'intonaco, subisce il ciclo termo-igrometrico in misura ridotta. Essa rappresenta quindi un vincolo che riduce la dilatazione/contrazione dell'intonaco.
- ▶ Questo vincolo genera delle tensioni tangenziali le quali, all'apice della **fessura di distacco**, sono molto elevate. Nasce quindi un fenomeno di **cumulo del danno locale**, che porta all'avanzamento dell'apice della fessura per **fatica termo-elastica**.



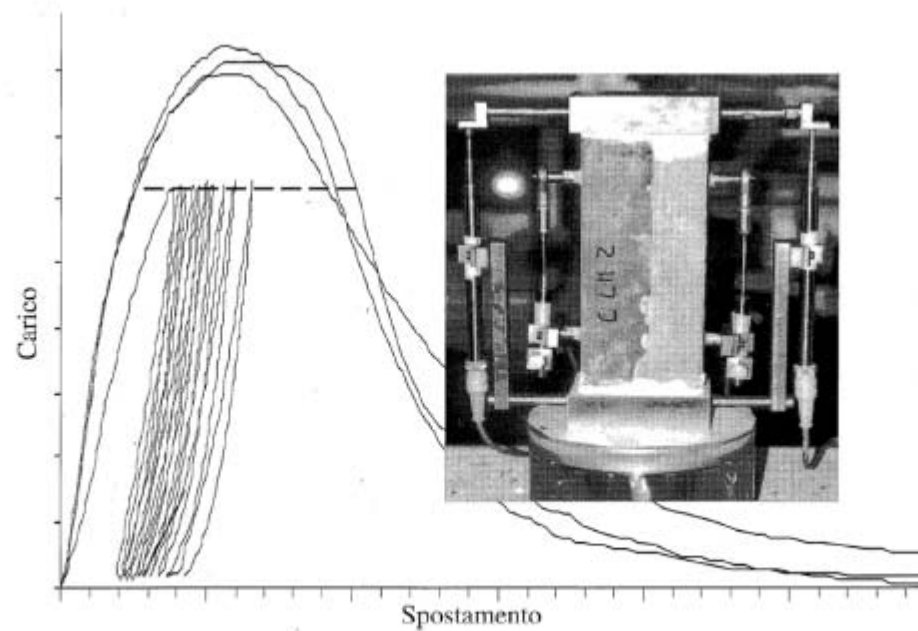
Perche' prove accelerate ?

- ▶ In laboratorio si potrebbe operare in modo strettamente conforme con la realta' attesa in sito, applicando cicli termici alla superficie.
- ▶ Così facendo bisognerebbe attendere il tempo necessario perche' la variazione di temperatura superi l'intonaco e penetri nella muratura. Per analizzare l'effetto di **10000 cicli** sarebbe necessario attendere tempi molto lunghi.
- ▶ Per questo si preferisce applicare direttamente una sollecitazione meccanica tale da generare, **in tempi molto piu' brevi, una distribuzione analoga di danno.**
- ▶ In questo modo si possono confrontare rapidamente fra loro soluzioni basate su una diversa composizione dei due materiali in questione: l'intonaco con la sua particolare stratificazione e la muratura.



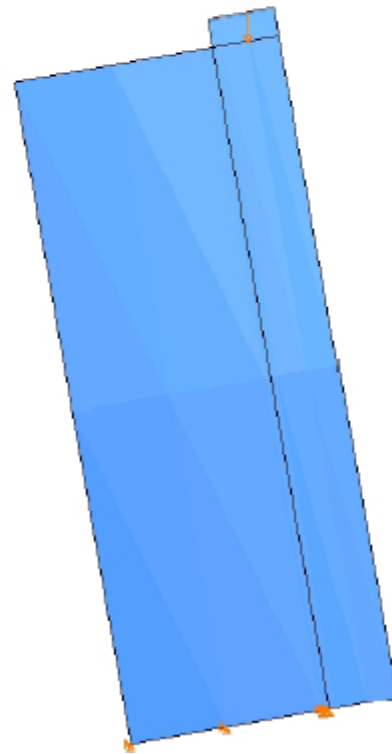
La crescita sub-critica della frattura per fatica

Le esperienze descritte nelle tesi di dottorato degli Ingg. **Marco Crotti** ed **Alessandro Grazzini** si riferiscono ad un caso analogo. Esse hanno mostrato che la propagazione **sub-critica per fatica** porta al collasso quando il percorso nel piano carico-spostamento **raggiunge la curva quasi statica**.

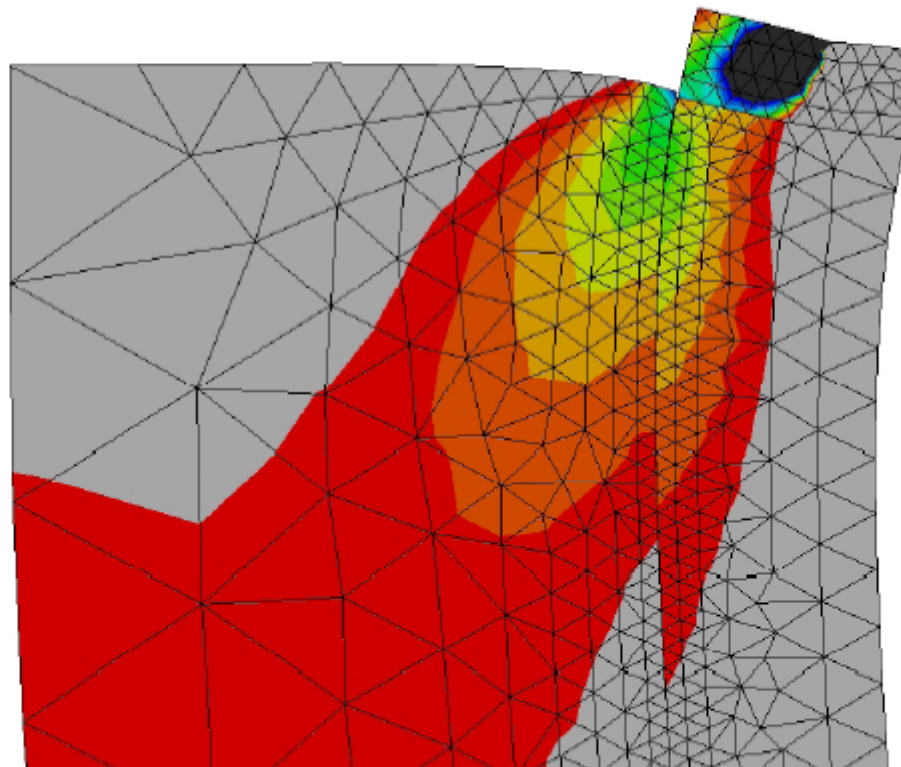
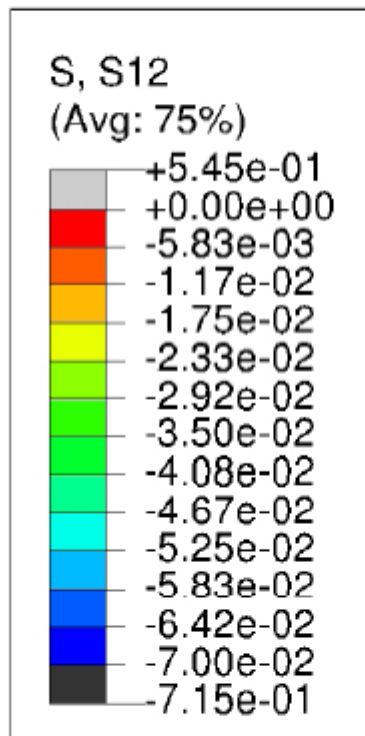


Le condizioni al contorno

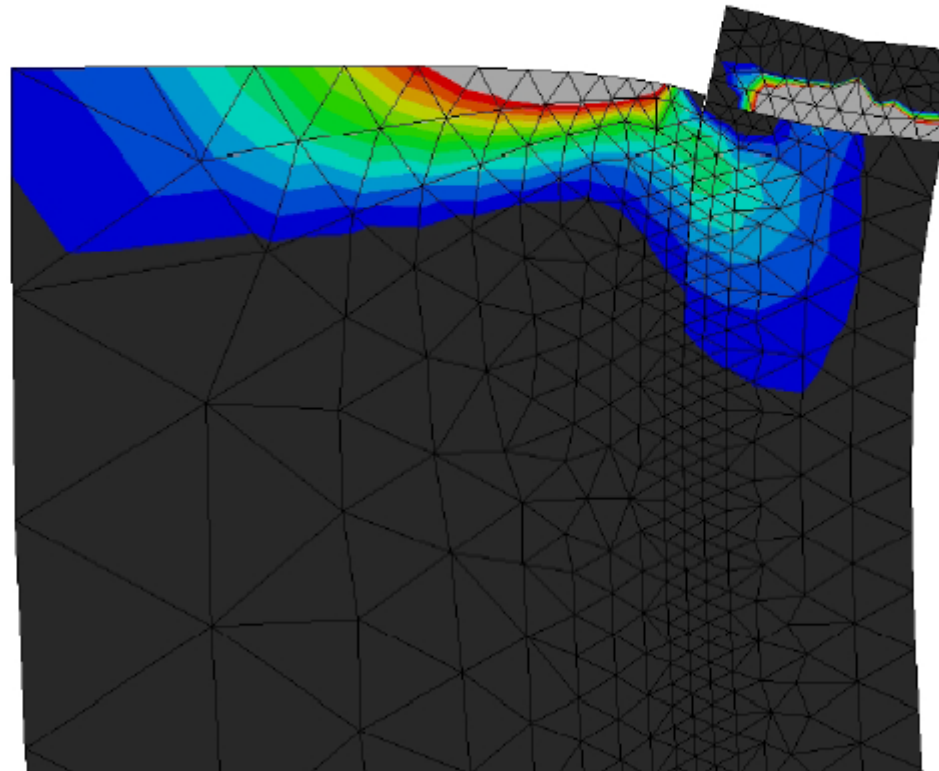
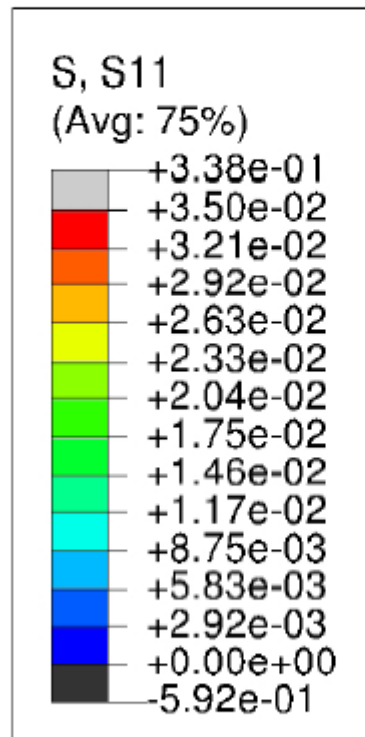
La freccia verso il basso indica lo spostamento imposto dalla macchina di prova. In condizioni **quasi-statiche** ad esso viene assegnata una **velocita' pre-definita**. Tra il piatto della macchina di prova ed il provino viene interposto un elemento di acciaio avente lo scopo di ripartire la **reazione**.



Linee di livello di τ nella fase elastica iniziale T=1



Linee di livello di σ nella fase elastica iniziale T=1



Il criterio di inizio della frattura

Il criterio di **inizio** della frattura e' stato assunto come segue:

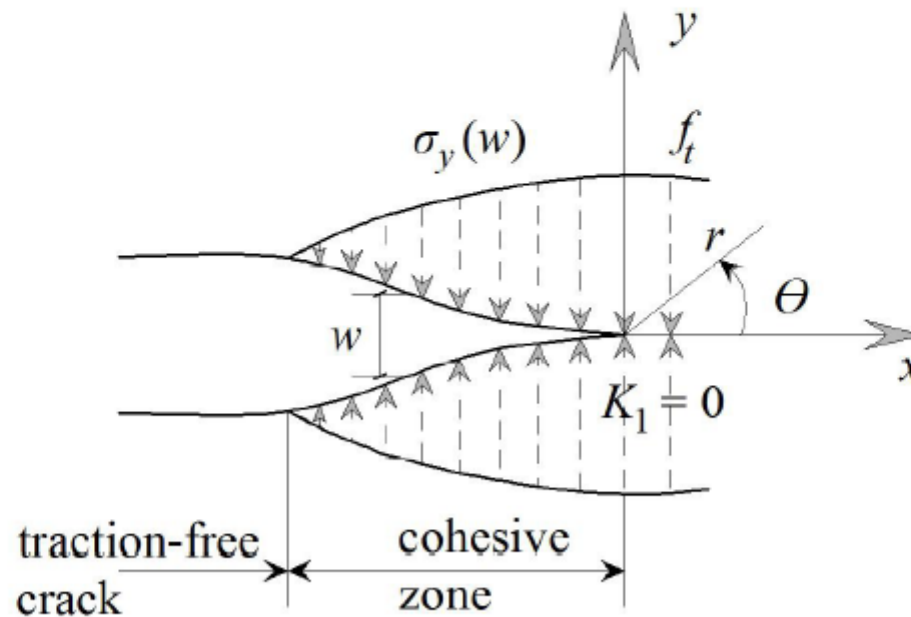
$$\left(\frac{\sigma_0}{f_t}\right)^2 + \left(\frac{\tau_0}{f_s}\right)^2 = 1 \quad (1)$$

dove σ_0 e τ_0 indicano rispettivamente le componenti di tensione ultima normale e tangenziale al giunto e f_t e f_s indicano le corrispondenti resistenze.



Il modello della frattura coesiva

Secondo il modello della **frattura coesiva** entrambe le componenti di tensione coesiva sono funzioni decrescenti del modulo della discontinuità di spostamento. Per semplicità in figura è indicata la sola componente normale.

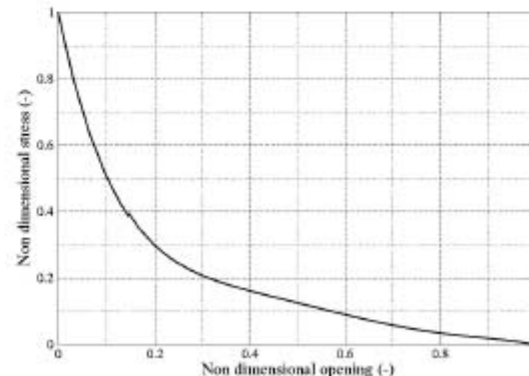


Il criterio di evoluzione della frattura

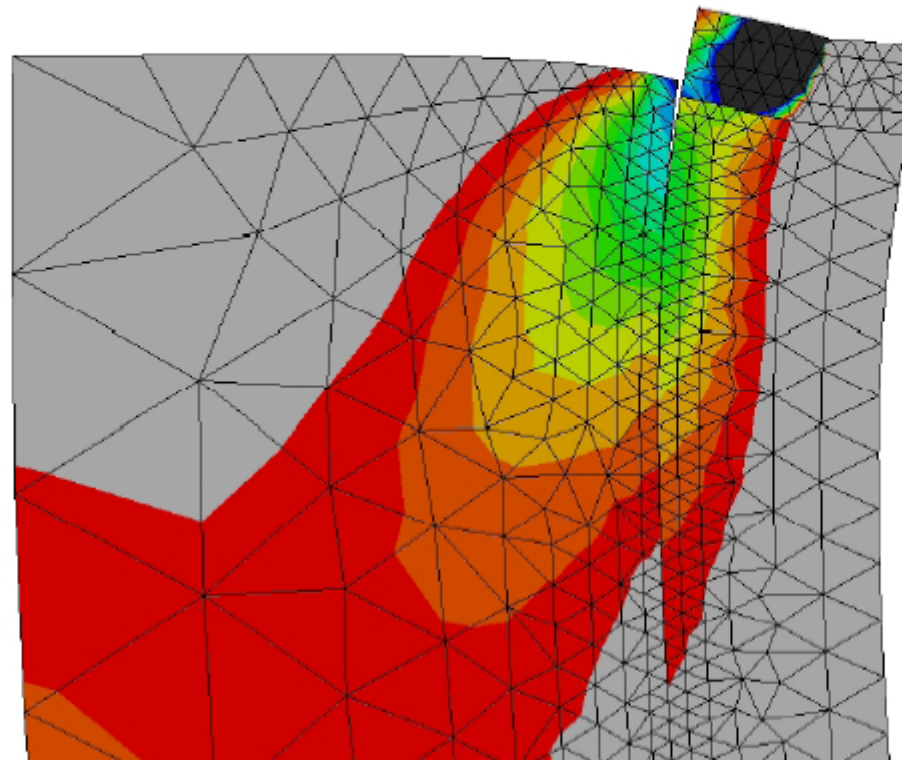
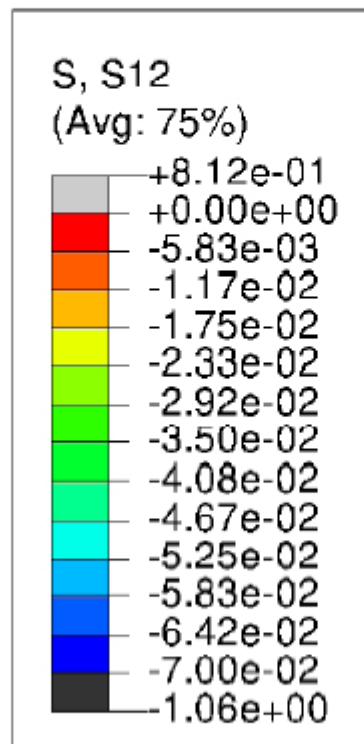
Le tensioni coesive sono assunte **funzioni decrescenti della discontinuita' di spostamento** espressa da:

$$W_{eff} = \sqrt{\left(\frac{W_n}{W_{nc}}\right)^2 + \left(\frac{W_t}{W_{tc}}\right)^2} \quad (2)$$

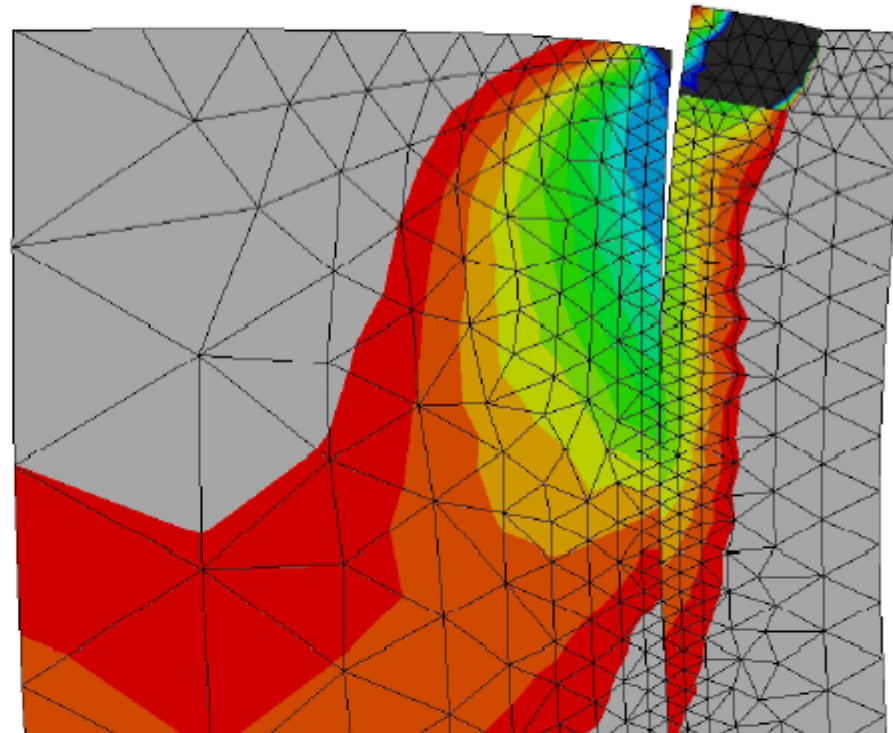
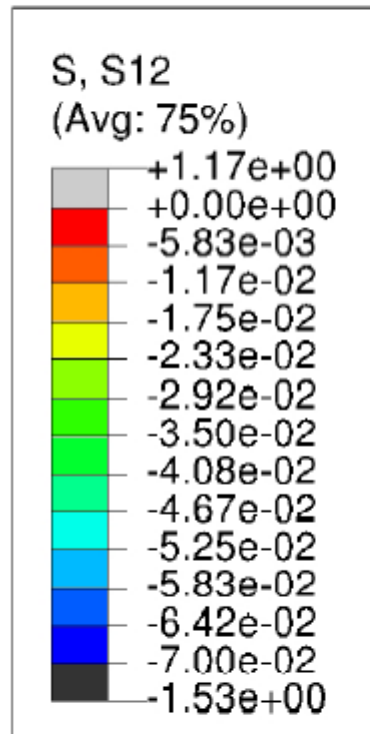
dove w_n rappresenta la componente normale della discontinuita' di spostamento e w_t quella tangenziale. w_{nc} e w_{tc} sono i corrispondenti valori critici, assunti 0.1 mm.



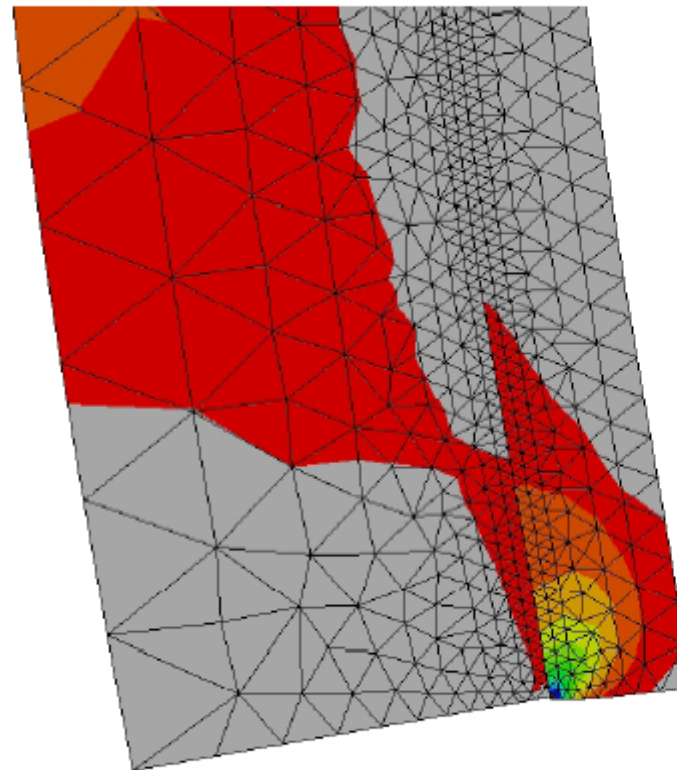
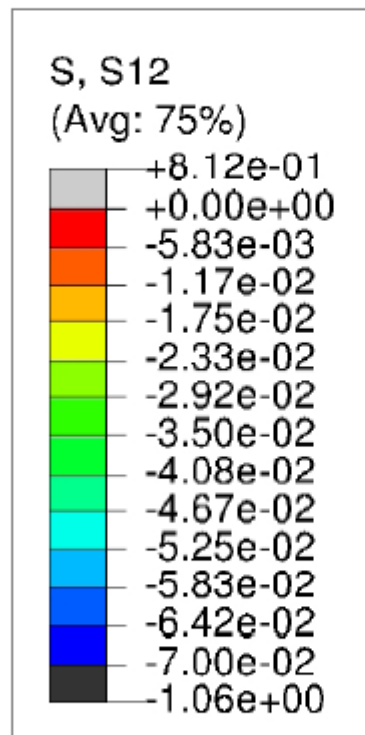
Linee di livello di τ in fase coesiva T=2



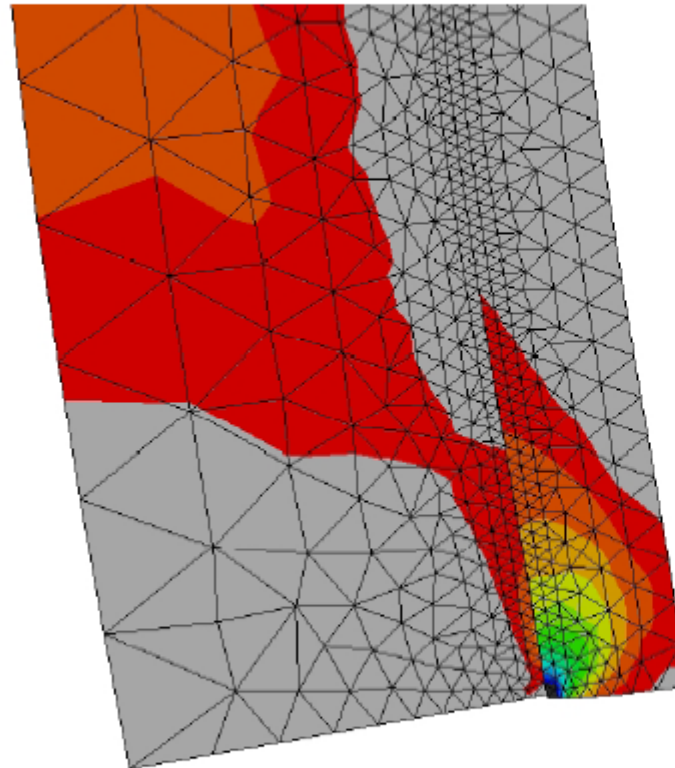
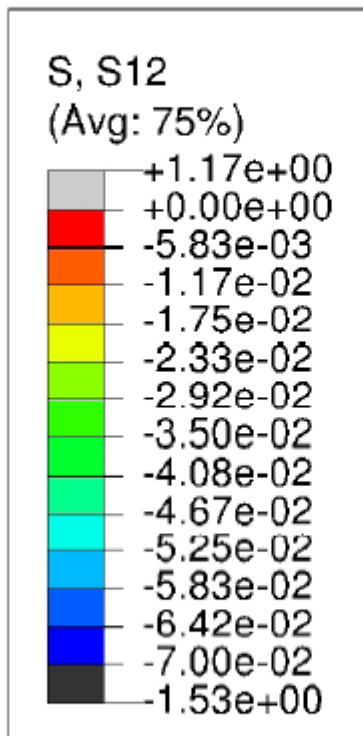
Linee di livello di τ in fase coesiva T=3



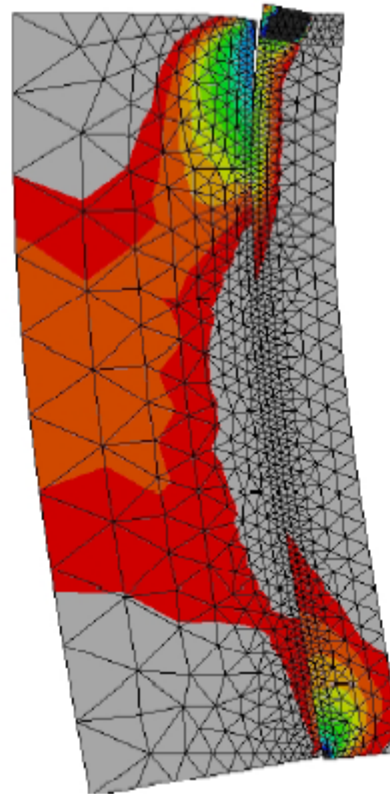
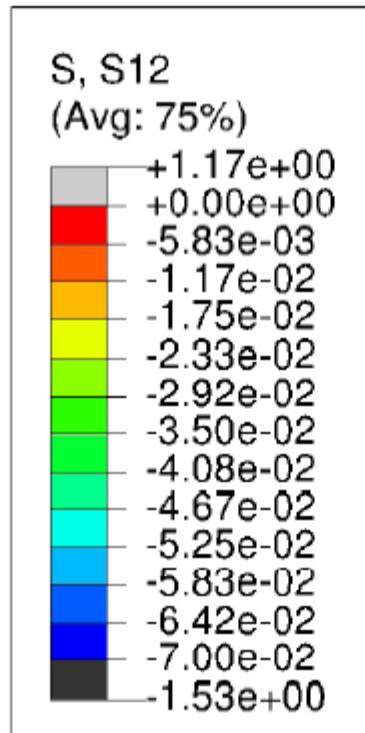
Linee di livello di τ in fase coesiva T=2



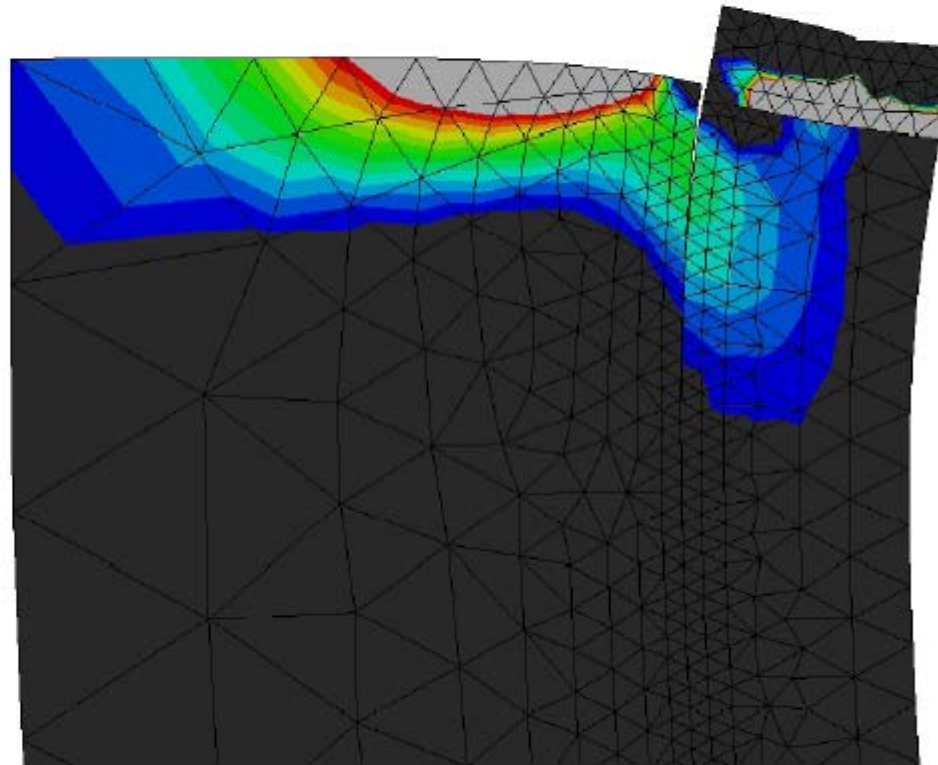
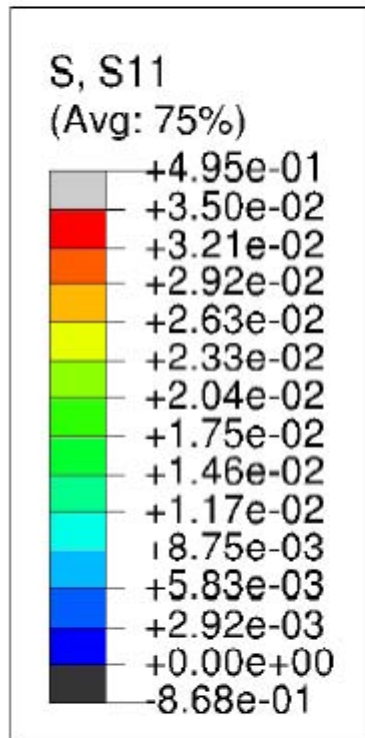
Linee di livello di τ in fase coesiva T=3



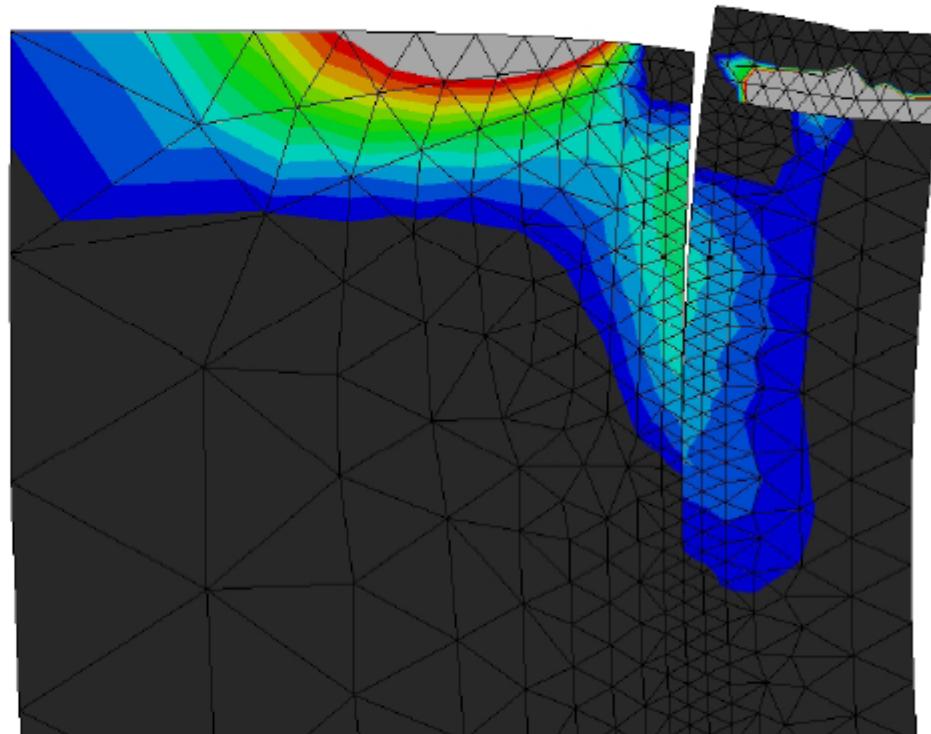
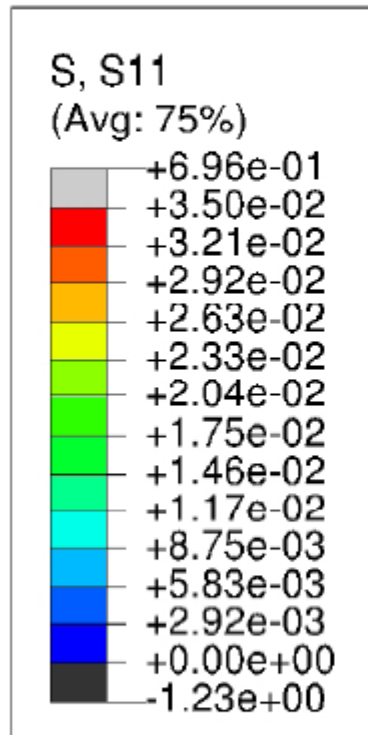
Linee di livello di τ in fase coesiva T=3



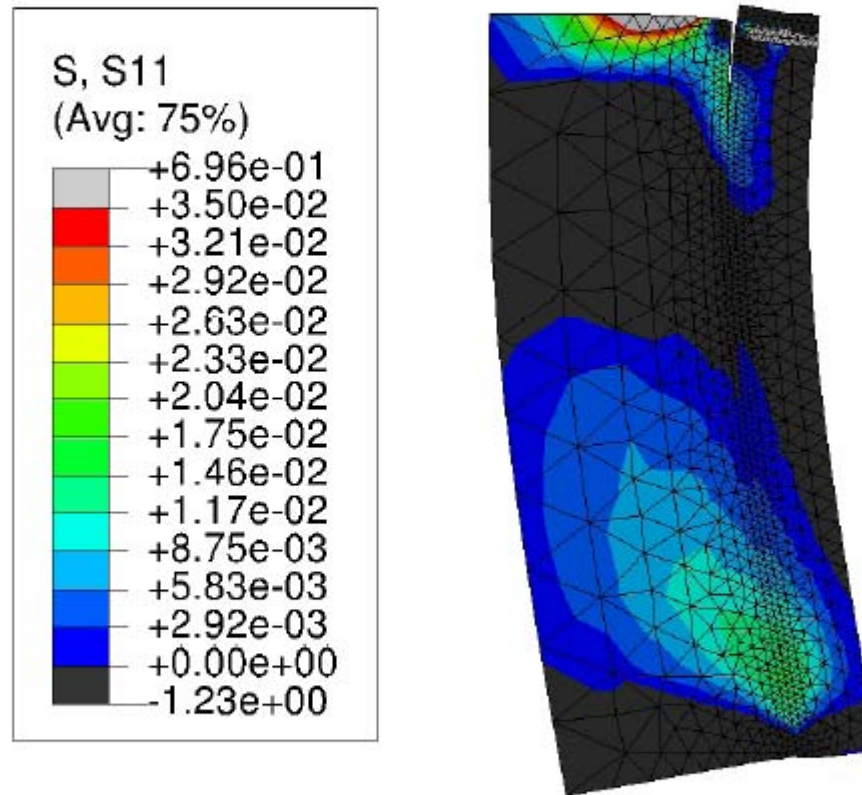
Linee di livello di σ in fase coesiva T=2



Linee di livello di σ in fase coesiva T=3

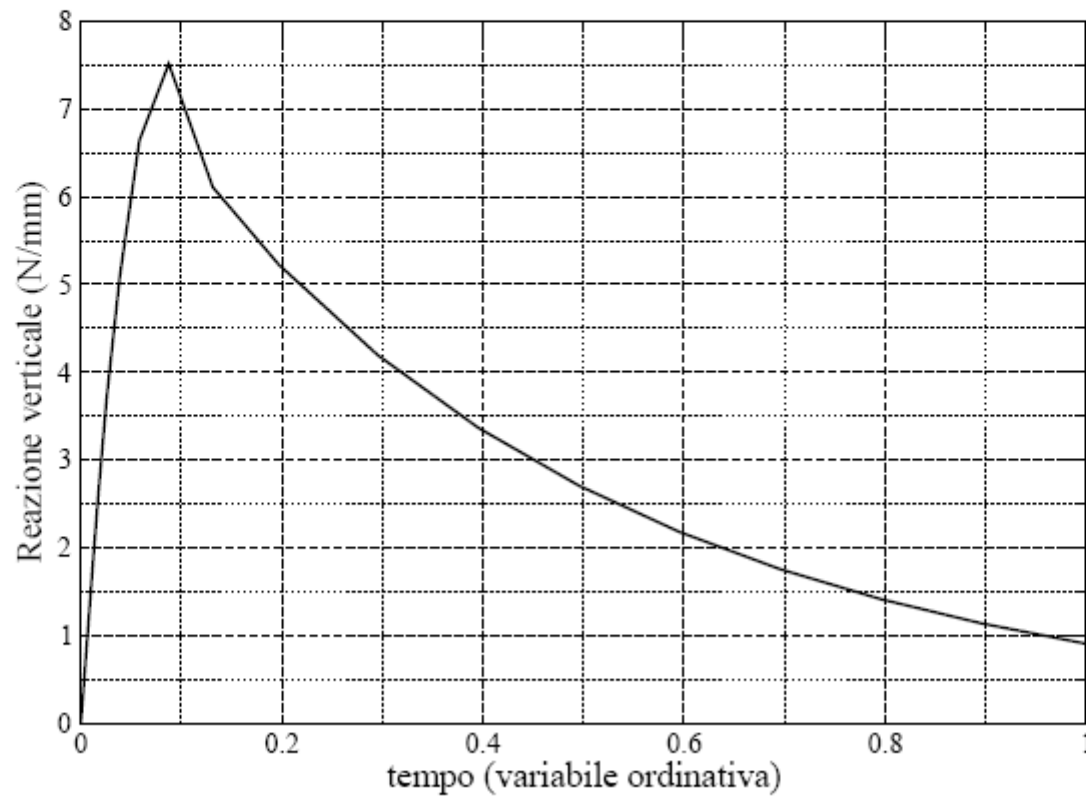


Linee di livello di σ in fase coesiva T=3



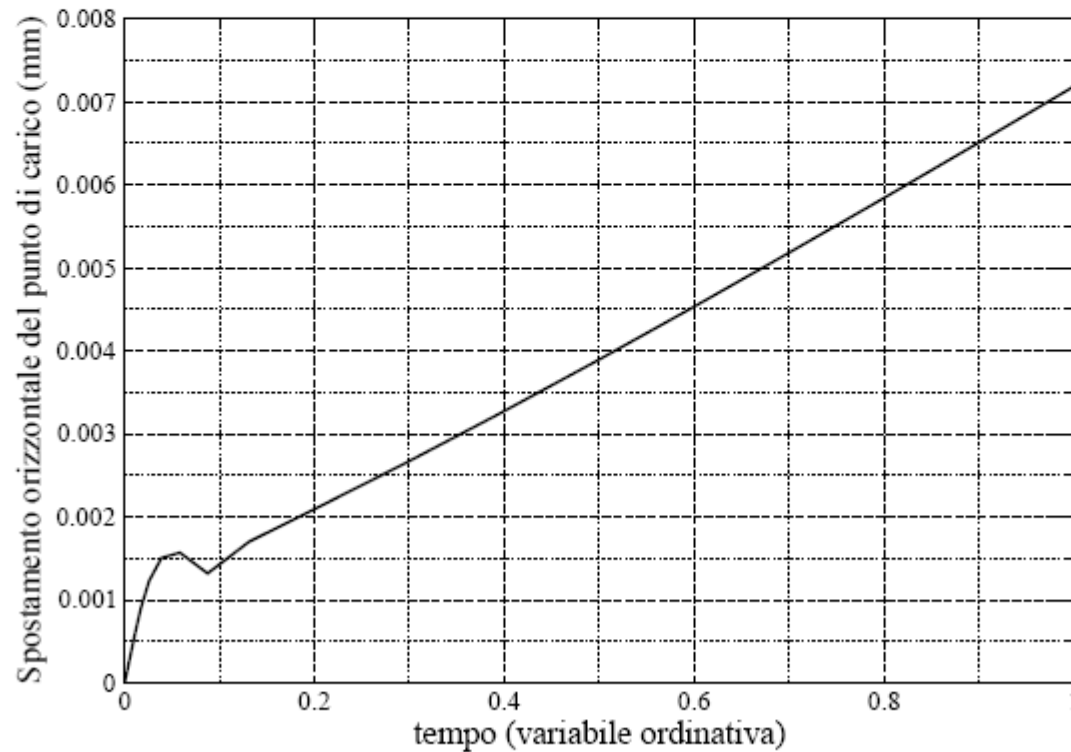
Carico esterno

Il punto di carico viene abbassato di 0.04 mm a velocità costante.



Spostamento orizzontale del punto di carico

Il punto di carico viene abbassato di 0.04 mm a velocità costante.



Conclusioni

- ▶ Le simulazione numeriche, eseguite col modello della **fessura coesiva** mostrano la controllabilita' della prova di laboratorio in condizioni **quasi-statiche**.
- ▶ Precedenti esperienze in condizioni analoghe hanno dimostrato che la propagazione **sub-critica per fatica** porta al collasso quando il percorso nel piano carico-spostamento **raggiunge la curva quasi-statica**.
- ▶ Con questo **protocollo di prove accelerate** intendiamo confrontare diverse soluzioni di collegamento tra intonaco e muratura.

SONOSCOPIA ENDOSUPERFICIALE:

***Descrizione di un metodo acustico per la
diagnosi dello stato di conservazione
degli affreschi
del Sacro Monte di Varallo***

**Alessandro Schiavi
Paolo Tarizzo**



Progetto RE-FRESCOS

Bando regionale per progetti di ricerca in materia di scienze umane e sociali per l'anno 2008 – D.D. 229/DB1300 del 12 Novembre 2008, S.O. n.2 al BUR 48/2008

AREA TEMATICA:

VALORIZZAZIONE E TUTELA DEL PATRIMONIO ARTISTICO E CULTURALE

Ente proponente: POLITECNICO DI TORINO

Responsabile progetto: Prof. Alberto Carpinteri

Work Package 4: “Valorizzazione e recupero del patrimonio pittorico murale del Piemonte: il problema dell’affidabilità e durabilità del supporto”

Responsabile WP4: Dott. Alessandro Schiavi (I.N.Ri.M)

Personale I.N.Ri.M:

Dott. Alessandro Schiavi

Dott.ssa Giuliana Benedetto

Dott. Paolo Tarizzo

P.E. Francesco Russo

coadiuvati dal Dott. Claudio Guglielmone

Progetto RE-FRESCOS

Obiettivi WP 4:

- 1) Studiare un metodo di indagine basato su tecniche acustiche non-invasive per la valutazione dello stato di conservazione degli affreschi.
- 2) Realizzare un apparato di misura *ad hoc* e definire la tecnica di misurazione con test di laboratorio e prove *in situ*.
- 3) Individuare i limiti e le potenzialità della tecnica di misurazione proposta con metodi metrologici.
- 4) Definire una “mappa acustica” sullo stato di conservazione della superficie dell'affresco.

Risultati Attesi:

- 1) Fornire un metodo di indagine innovativo e non invasivo, dello stato di conservazione degli affreschi.
- 2) Fornire una mappa qualitativa e quantitativa dello stato della superficie degli affreschi indagati.

Stato dell'arte



ELSEVIER

Applied Acoustics 63 (2002) 43–59

www.elsevier.com/locate/apacoust

applied
acoustics

Revealing surface anomalies in structures by in situ measurement of acoustic energy absorption

P. Calicchia*, G.B. Cannelli

Consiglio Nazionale delle Ricerche- Istituto di Acustica "O. M. Corbino" - Via del Fosso del Cavaliere, 100 - 00133 Rome, Italy

Received 7 August 2000; received in revised form 20 February 2001; accepted 20 March 2001

Abstract

An improved method is proposed for revealing surface anomalies in structures by in situ relative measurement of acoustic energy absorption. Characterization and mapping of particular structures, such as plasters of antique mural paintings are taken into account as a possible application. In situ measurements of the acoustic energy absorption are carried out, employing a diagnostic technique based on the Cepstrum algorithm. Tests on samples with artificially prepared specimens, simulating surface anomalies, are described and a collection of acoustic images is presented. Properties of the specimens and features of the experimental technique are discussed. © 2001 Elsevier Science Ltd. All rights reserved.

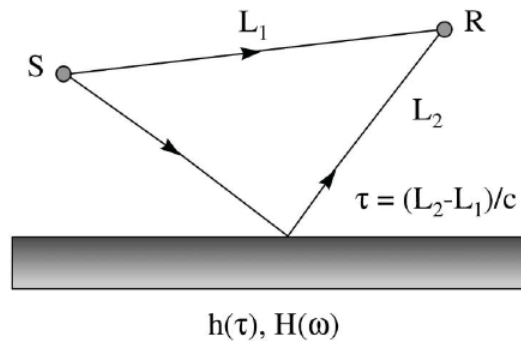


Fig. 1. Acoustic signal source and detector system for the study of surface anomalies.



ELSEVIER

Available online at www.sciencedirect.com

SCIENCE @ DIRECT®

Journal of Sound and Vibration 284 (2005) 1015–1031

JOURNAL OF
SOUND AND
VIBRATION

www.elsevier.com/locate/jsvi

Assessment of fresco detachments through a non-invasive acoustic method

Dionisio Del Vescovo*, Annalisa Fregolent

Dipartimento di Meccanica e Aeronautica, Università di Roma "La Sapienza", Via Eudossiana 18, 00184 Roma, Italy

Received 14 July 2003; received in revised form 6 May 2004; accepted 26 July 2004

Available online 15 December 2004

Abstract

In artistic frescoes, the partial detachment of plaster portions is a typical and serious problem. At present, the standard procedure of diagnosis consists of manual inspection, but produces only approximate information. This work describes in more detail an acoustic, non-invasive, experimental technique of diagnosis, which has been already proposed by the authors. It is based on the acoustic–structural interaction which occurs when an acoustic duct is excited by a loudspeaker and closed by the investigated fresco at the opposite end. The analysis of the acoustic pressure field and of its alterations allows the assessment of detachments, since the acoustic modal parameters are affected by the acoustic system boundary conditions, i.e. the portion of fresco closing the duct. Experiments carried out on fresco specimens show the potential of this acoustic method.

© 2004 Elsevier Ltd. All rights reserved.

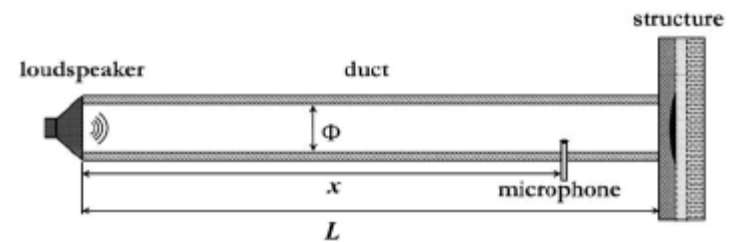
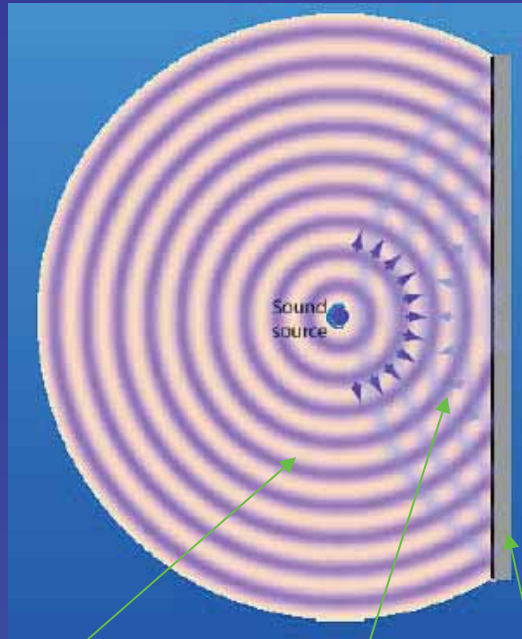


Fig. 1. Acoustic device.

Basi teoriche del principio



Onda Incidente
Onda riflessa
Ostacolo



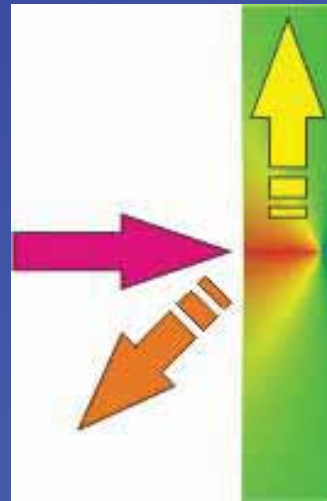
Energia
incidente



Energia
riflessa



Energia
Assorbita



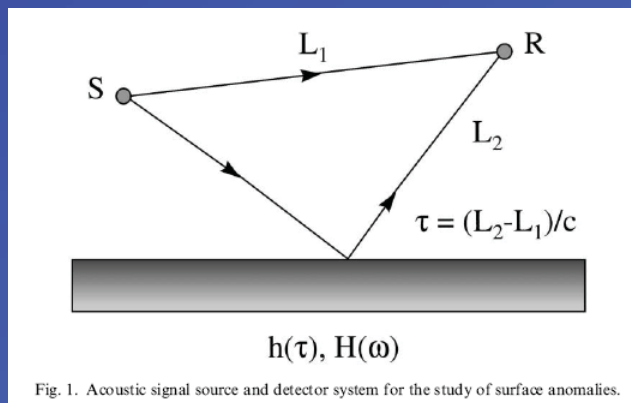
ASSORBIMENTO ACUSTICO

- Assorbimento per porosità
- Assorbimento per risonanza di cavità
- Assorbimento per risonanza di membrana

Quando un'onda di pressione acustica incontra una qualsiasi superficie in parte viene riflessa e in parte assorbita. L'onda riflessa è modificata in ampiezza e in frequenza (modulo e fase).

Determinando sperimentalmente la "quantità di energia" riflessa o assorbita (nota l'energia incidente), oppure l'andamento della risposta in frequenza, è possibile risalire alle proprietà e/o alle caratteristiche fisico-meccaniche del materiale "ostacolo".

Problemi di applicabilità dei metodi proposti



Questo metodo, che fornisce molte informazioni fisico-meccaniche, non è applicabile perché la sorgente **S** e il ricevitore **R** devono essere collocati in campo libero; nel nostro caso la presenza delle statue nel campo crea riflessioni multiple.

Problemi di applicabilità dei metodi proposti

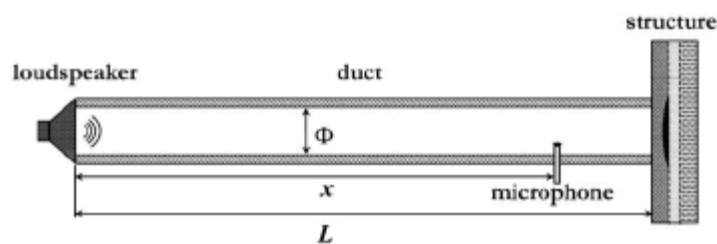
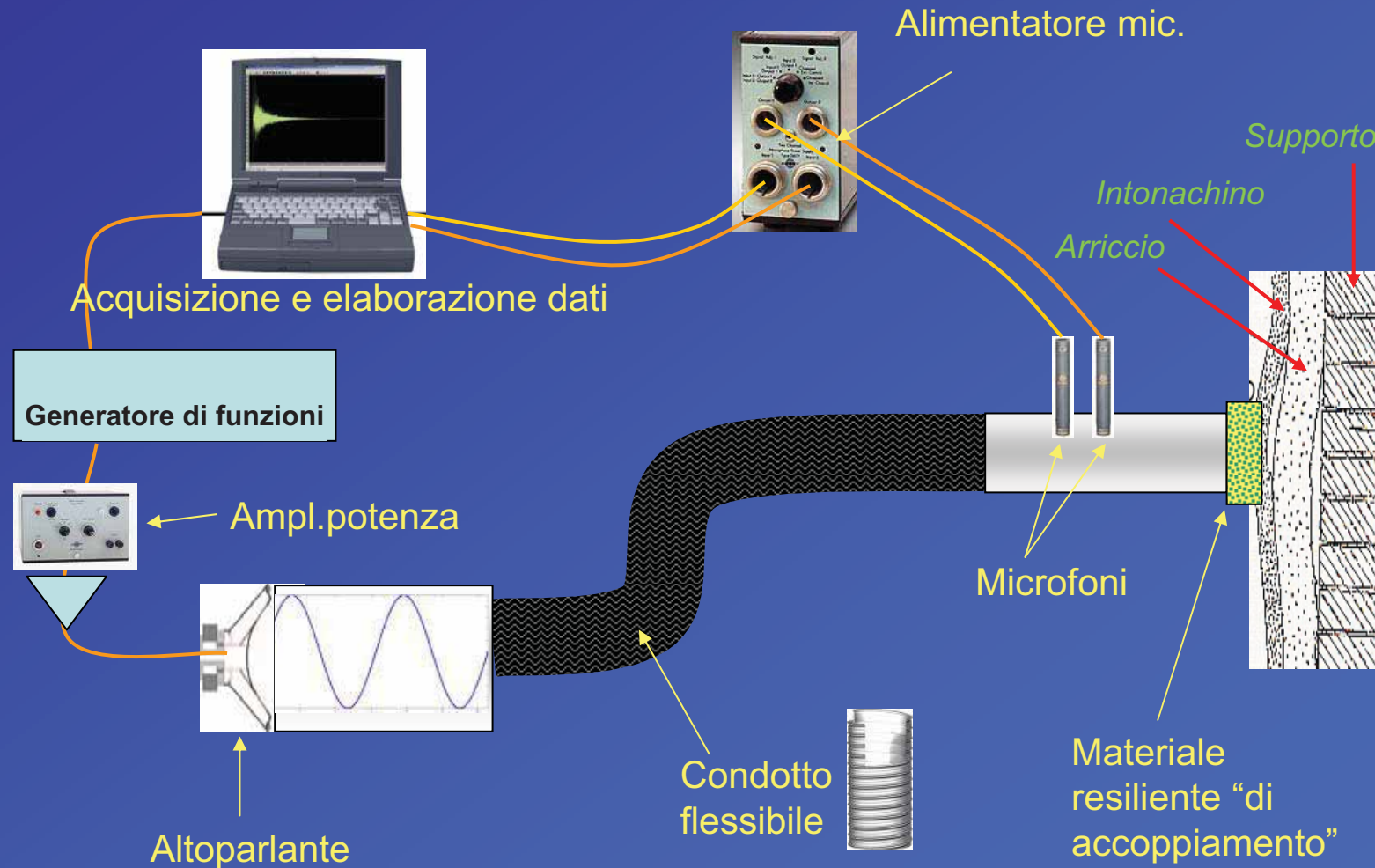


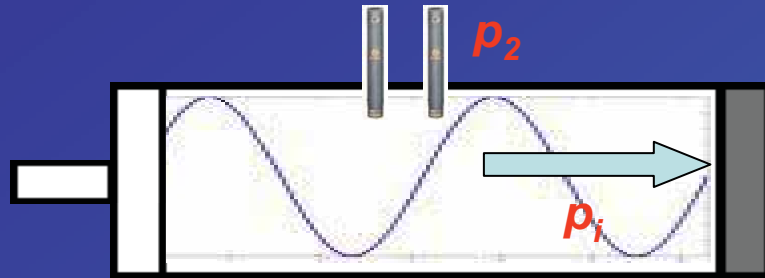
Fig. 1. Acoustic device.

Questo metodo è basato sulla risposta all'impulso. Tecnicamente è il metodo che offre più garanzie, tuttavia sulla base dell'articolo, l'analisi proposta è basata solo sull'analisi della risposta in frequenza del sistema.

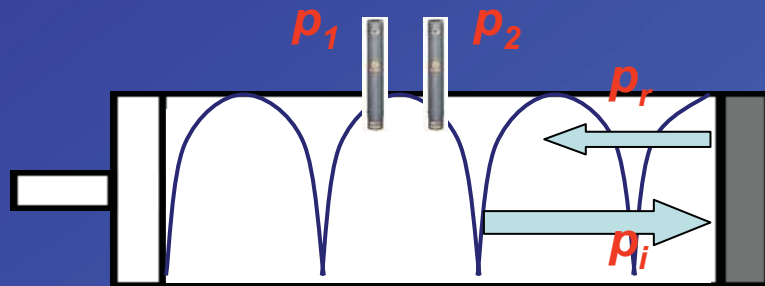
Apparato sperimentale proposto



Basi teoriche del principio



Nel caso in cui il materiale sia perfettamente assorbente l'onda di pressione acustica incidente p_i non subisce alcuna riflessione.



Se invece il materiale è perfettamente riflettente l'onda di pressione acustica incidente p_i viene totalmente riflessa creando nella cavità di misura un raddoppio della pressione sonora rilevata nella postazioni microfoniche p_1 e p_2

Coefficiente di assorbimento
acustico per incidenza normale



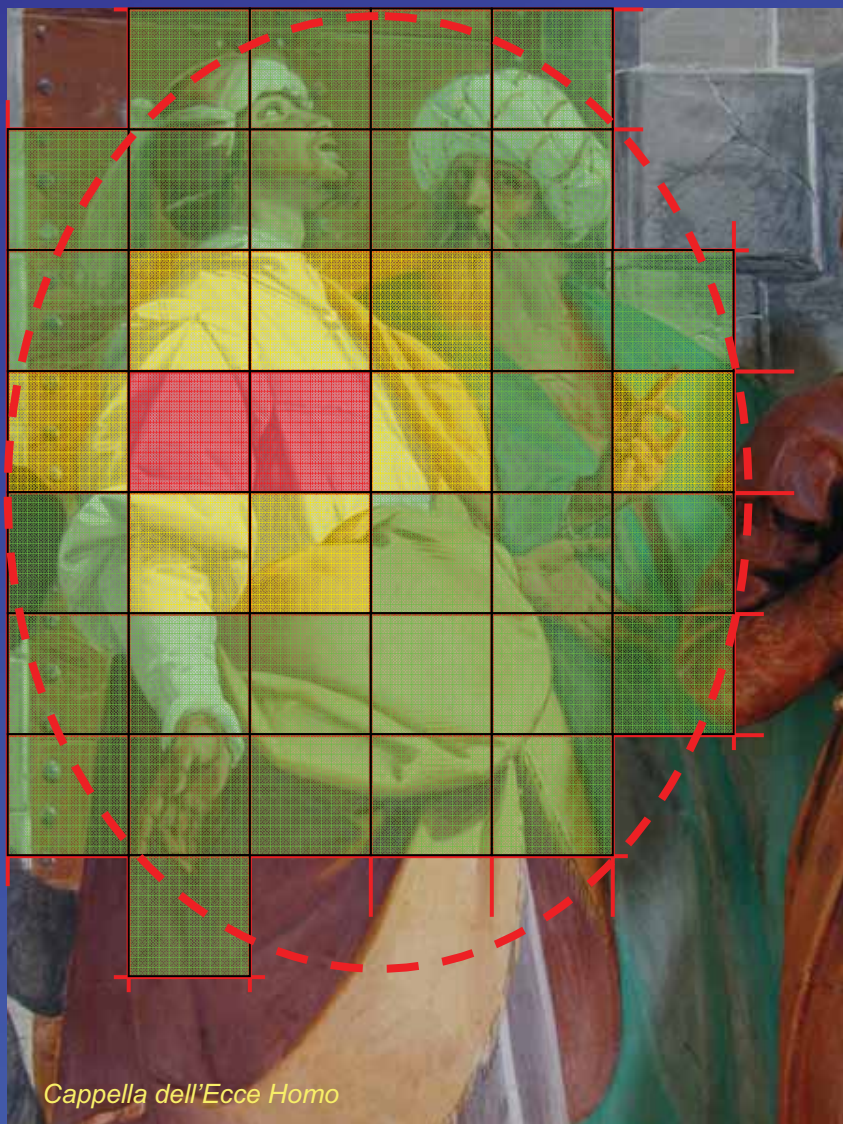
$$\alpha = 1 - |r|^2$$

Impedenza acustica specifica



$$\frac{Z}{\rho c_0} = \frac{1+r}{1-r}$$

Esempio: Tecnica di intervento



1 - Individuazione di un area d'intervento

2 - Suddivisione "topografica" della superficie interessata in aree di dimensioni definite

3 - Determinazione del coefficiente di riflessione di ciascuna porzione di superficie e assegnazione, a ciascuna porzione d'area, di un "indicatore di criticità"

Road-map prevista

Giugno - Dicembre 2010:

- 1) Realizzazione dell'apparato sperimentale
- 2) Taratura e caratterizzazione dell'apparato in laboratorio

Gennaio - Giugno 2011:

- 1) Prime misure esplorative *in situ* per la definizione della procedure di misurazione
- 2) Definizione delle procedure di interpretazione e analisi dei dati sperimentali raccolti *in situ*
- 3) Primo prototipo di "mappa acustica".

Da Luglio 2011:

- 1) Inizio attività di rilevazione dello stato endosuperficiale degli affreschi
- 2) Analisi dei dati
- 3) Produzione di "mappe acustiche" sullo stato degli affreschi soggetti a monitoraggio

TUBO A ONDE STAZIONARIE (O TUBO DI IMPEDENZA)

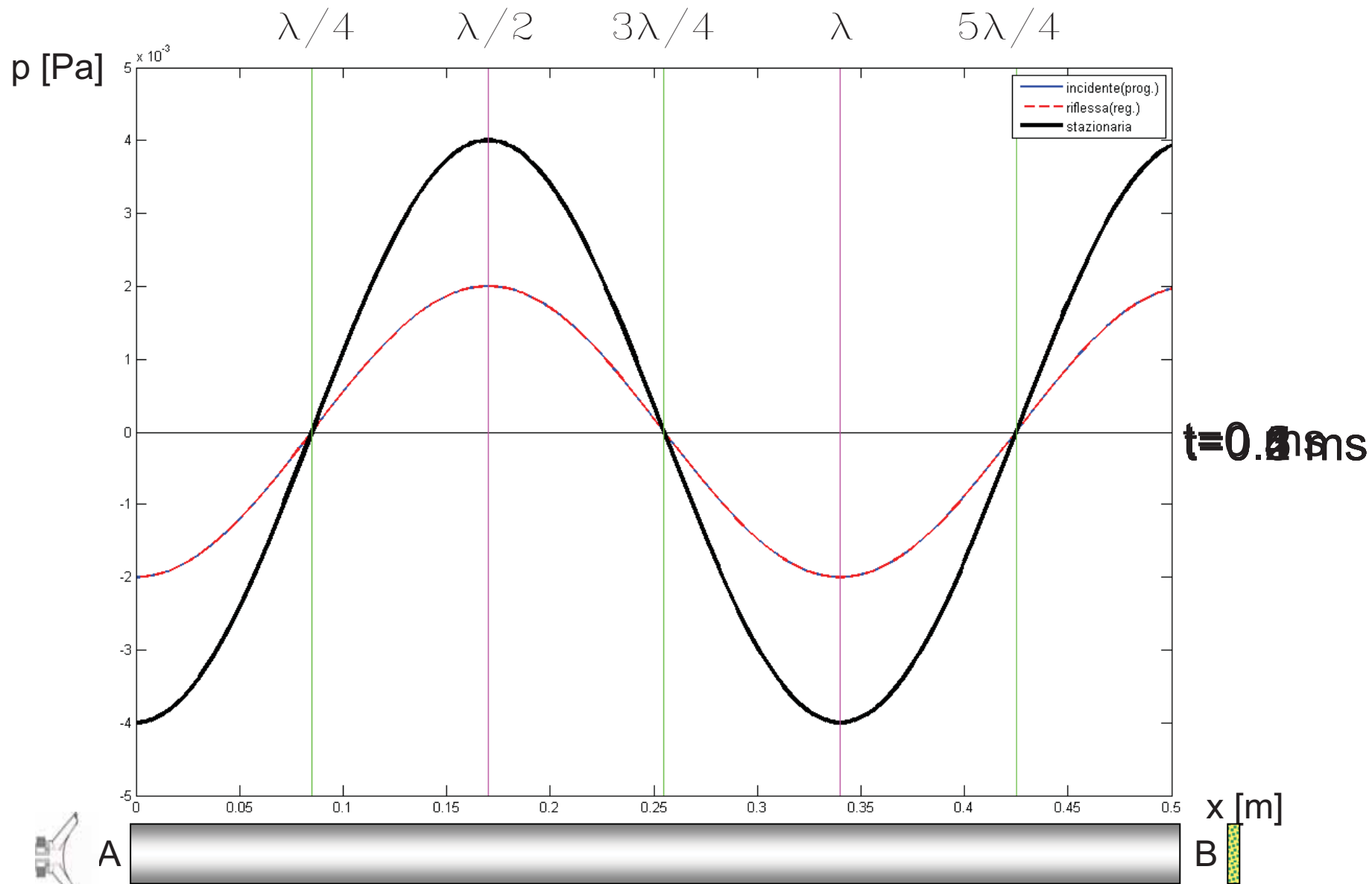
ONDE STAZIONARIE

Un tubo rigido e di sezione costante costituisce un apparato idoneo alla misura delle proprietà acustiche (meccaniche) di una superficie posta ad una estremità del tubo stesso.

Attraverso la misura della pressione (ampiezza) delle onde stazionarie presenti nel tubo, può essere determinata l'impedenza acustica del materiale testato.



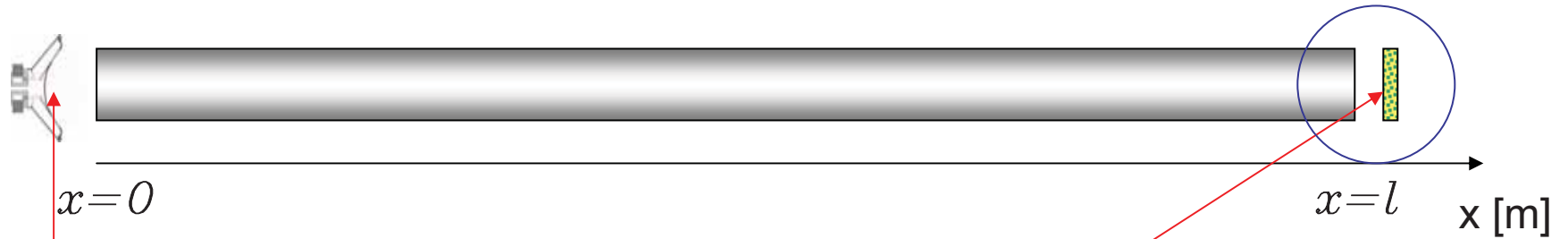
Per comprendere il metodo occorre studiare la natura delle onde stazionarie presenti nel tubo.



$f = 1000 \text{ Hz};$
 $c = 340 \text{ m/s};$
 $A = 0.002 \text{ Pa};$
 $\lambda = c/f = 0.34 \text{ m};$

$$p_+ = A_+ e^{ikx - i\omega t}$$

$$p_- = A_- e^{-ikx - i\omega t}$$



$$p(x,t) = A_+ e^{ikx - i\omega t} + A_- e^{-ikx - i\omega t}$$

$$u(x,t) = \frac{1}{i\omega\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{1}{\rho c} [p_+(x,t) - p_-(x,t)]$$

$$p = A_+ e^{ikx} + A_- e^{-ikx} = A \cosh(ikx + \Phi_0) = A \cosh(ikx - \Phi_l)$$

$$u = \frac{A}{\rho c} \sinh(ikx + \Phi_0) = -\frac{A}{\rho c} \sinh(ikx - \Phi_l)$$

$$A_+ = \frac{1}{2} A e^{\Phi_0}$$

$$A_- = \frac{1}{2} A e^{-\Phi_0}$$

$$d = l - x$$

$$\Phi_l = \Phi_0 + ikl$$

$$\Phi_0 = \pi\alpha_0 - i\pi\left(\beta_0 + \frac{1}{2}\right)$$

$$\Phi_l = \pi\alpha_l - i\pi\left(\beta_l + \frac{1}{2}\right)$$

$$ik = -\pi\gamma + i\pi\frac{2}{\lambda}$$

$$\alpha_0 = \alpha_l + \gamma_l$$

$$\beta_0 = \beta_l + \frac{2l}{\lambda}$$

$$\frac{A_r}{A_i} = \exp(-2\text{Re}\Phi_s) = e^{-2\pi\alpha_l}$$

$$\text{phasediffonref} = -2\text{Im}\Phi_s = \pi(2\beta_s + 1)$$

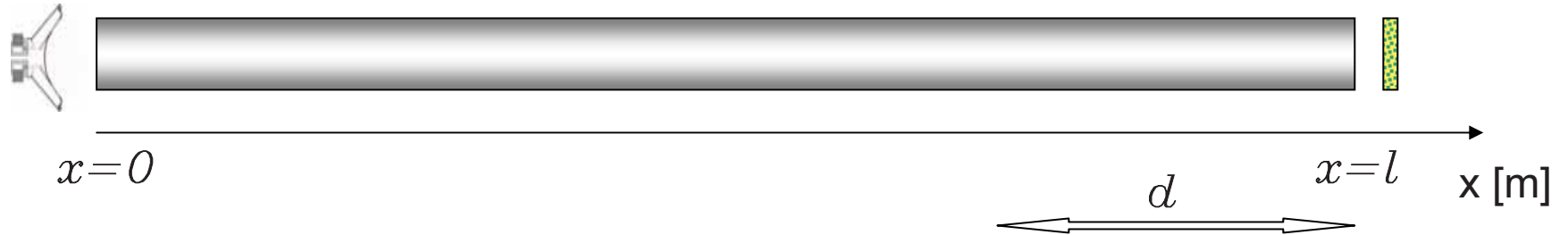
$$z_l = \left(\frac{p}{u}\right)_l = \rho c \zeta_l = \rho c(\vartheta - i\chi)$$

$$\zeta_l = \coth \Phi_l = \coth\left(\alpha_l - i\beta_l - \frac{1}{2}i\right) = \tanh \pi(\alpha_l - i\beta_l)$$

Se l'impedenza acustica specifica è nota:

$$\zeta_0 = \coth \Phi_0 = \tanh \pi(\alpha_0 - i\beta_0) = \tanh \pi\left[(\alpha_l + \gamma_l) - i\left(\beta_l + \frac{2l}{\lambda}\right)\right]$$

Se l'impedenza acustica non è nota, essa può essere determinata misurando l'ampiezza della pressione nel tubo in funzione di x :



$$|A|^2 |\cosh(ikd - \Phi_l)|^2 = |A|^2 \left| \cosh \pi \left[(\alpha_l + \gamma_d) - i \left(\beta_l + \frac{2d}{\lambda} + \frac{1}{2} \right) \right] \right|^2 = |A|^2 \left[\cosh^2 \pi (\alpha_l + \gamma_d) - \cos^2 \pi \left(\beta_l + \frac{2d}{\lambda} \right) \right]$$

$$\beta_l + \frac{2d_{\min}}{\lambda} = n$$

$$p_{\min}(n) = |A| \sinh \pi \left[\alpha_l + \frac{1}{2} \gamma \lambda (n - \beta_l) \right]$$

$$p_{\max} \left(n + \frac{1}{2} \right) = |A| \cosh \pi \left[\alpha_l + \frac{1}{2} \gamma \lambda \left(n + \frac{1}{2} - \beta_l \right) \right]$$

Per misurare l'impedenza ζ_l :

determinare la distanza tra due minimi e quella tra il minimo più prossimo alla terminazione $x=l$;

il valore di γ è determinabile misurando la pressione rms a due minimi consecutivi e il massimo intermedio;

Il valore di α_l è determinabile attraverso la media aritmetica dei valori rms della pressione a due minimi consecutivi, diviso per il valore rms della pressione del massimo intermedio (conoscendo γ , λ , d_{\max})

Con α_l e β_l è possibile determinare l'impedenza del materiale posto a $x=l$



ISTITUTO
NAZIONALE
DI RICERCA
METROLOGICA

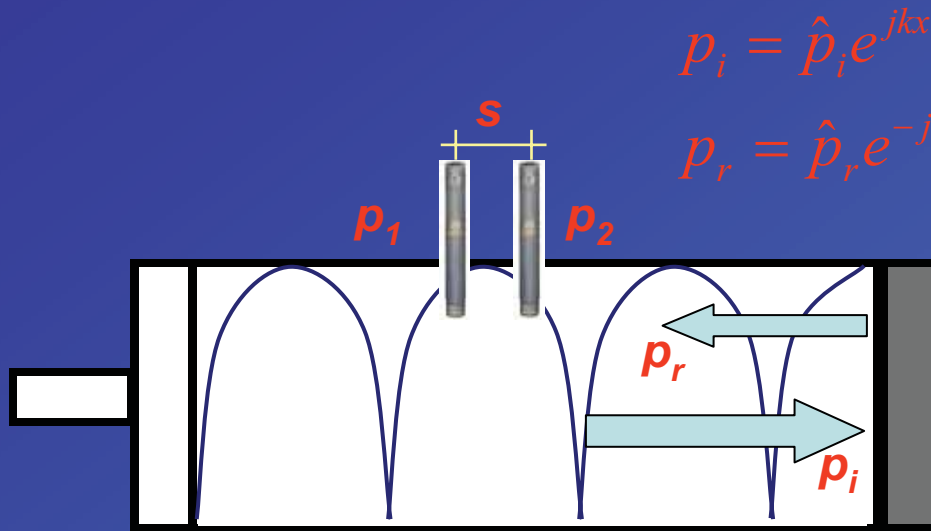
SONOSCOPIA ENDOSUPERFICIALE

Alessandro Schiavi: a.schiavi@inrim.it

Paolo Tarizzo: p.tarizzo@inrim.it



Basi teoriche del principio



$$p_i = \hat{p}_i e^{jkx}$$

$$p_r = \hat{p}_r e^{-jkx}$$

$$p_1 = \hat{p}_i e^{jkx_1} + \hat{p}_r e^{-jkx_1}$$

$$p_2 = \hat{p}_i e^{jkx_2} + \hat{p}_r e^{-jkx_2}$$

$$H_i = \frac{p_{2i}}{p_{1i}} = e^{-jk(x_2-x_1)} = e^{-jks}$$

$$H_r = \frac{p_{2r}}{p_{1r}} = e^{jk(x_2-x_1)} = e^{jks}$$

$$H_{12} = \frac{p_2}{p_1} = \frac{e^{jkx_2} + r e^{-jkx_2}}{e^{jkx_1} + r e^{-jkx_1}}$$

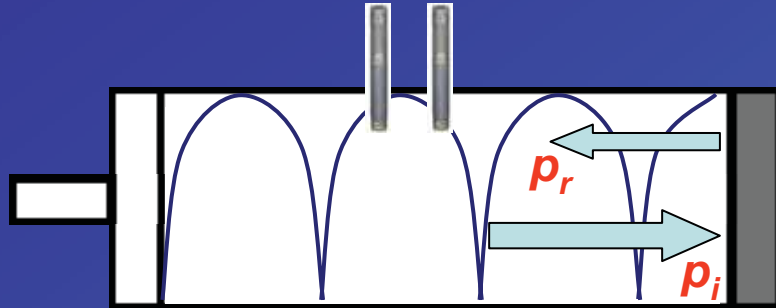
$$r = \frac{H_{12} - H_i}{H_r - H_{12}} e^{2jkx_1}$$

$$k = \frac{2\pi f}{c_0} = \frac{2\pi}{\lambda_0}$$

$$c_0(T^\circ) = 343.3 \sqrt{\frac{T}{293}}$$

La tecnica di misura è limitata in frequenza
nel seguente campo: $0 \leq k \cdot s \leq \pi/2$

Basi teoriche del principio



La funzione di trasferimento H_{12} , che è funzione della frequenza, è calcolata scambiando le posizioni dei microfoni. In questo modo si correggono gli effetti di sfasamento e le differenti sensibilità.

$$H_{12} = \left(H_{12}^I \cdot H_{12}^{II} \right)^{1/2} = |H_{12}| e^{j\varphi}$$

$$r = \frac{H_{12} - H_i}{H_r - H_{12}} e^{2jkx_1}$$

Coefficiente di assorbimento
acustico per incidenza normale

$$\Rightarrow \alpha = 1 - |r|^2$$

Impedenza acustica specifica

$$\Rightarrow \frac{Z}{\rho c_0} = \frac{1+r}{1-r}$$