

Progetto RE-FRESCOS

Atti della Giornata Seminariale

Giovedì 29 Novembre, 2012, Aula Albenga (DISEG)

Coordinatore: Prof. Alberto Carpinteri



III Giornata Seminariale Progetto REFRESCOS

Giovedì 29 Novembre 2012
Politecnico di Torino, Aula Albenga (DISEG)

Coordinatore: Prof. Alberto Carpinteri

Programma

Ore 10:00. Introduzione alla Giornata Seminariale da parte del Coordinatore del Progetto REFRESCOS Prof. Alberto Carpinteri

Orario	Oratore	Titolo dell'Intervento
10:15-10:45	Dr M. Zerbinatti Dr A. Formia	Caratterizzazione di finiture, studio di nuovi consolidanti e allestimento di prove sperimentali per la verifica del loro comportamento in opera.
10:45-11:15	Prof. G. Lacidogna Ing. F. Accornero	Il Sacro Monte di Varallo: Correlazione tra Emissioni Acustiche e terremoti.
11:15-11:45	Dr A. Grazzini Ing. A. Alberto	Prove statiche di aderenza tra intonaco e muratura: Sperimentazione e analisi numerica.
11:45-12:15	Dr A. Schiavi Dr P. Tarizzo	Sonoscopia Endosuperficiale: Descrizione di un metodo acustico per la diagnosi dello stato di conservazione degli affreschi del Sacro Monte di Varallo.
12:15-12:30	Dr A. Saporà	Simulazione numerica del fenomeno di distacco tra materiali eterogenei soggetti a variazioni di temperatura mediante il modello della fessura coesiva esteso all'ambito termoelastico.

Ore 12:30. Intervento da parte del Direttore dell'Ente di Gestione dei Sacri Monti Arch. Renato Tonello

TAVOLA ROTONDA CONCLUSIVA

III Giornata Seminariale Progetto REFRESCOS
Giovedì 29 novembre 2012

**CARATTERIZZAZIONE DI FINITURE, STUDIO DI NUOVI
CONSOLIDANTI E ALLESTIMENTO DI PROVE SPERIMENTALI
PER LA VERIFICA DEL LORO COMPORTAMENTO IN OPERA.**



SPUNTI DI RIFLESSIONE

Aspetto “grigio” e liscio delle finiture applicate sulle pareti più esposte all’acqua *di stravento*, comune a numerose cappelle; a volte, tali finiture sono al di sotto di uno strato di pitturazione nei toni del giallo.

A tale **apparente omogeneità di aspetto**, corrisponde anche una **uniformità di composizione di materiali e di esecuzione tecnica?**

Nuova campagna di prelievo di campioni e di loro analisi

✓ **Lacune nelle finiture ad intonaco**

Metodi adeguati di integrazione sulla base delle conoscenze analitiche e tecniche

✓ **Intonaci decoesi (che *polverizzano*)**

Studio di consolidanti ibridi organici- inorganici

✓ **Ipotesi di prove sperimentali per verificare il comportamento degli intonaci e dei consolidanti in opera.**



IL COLORE GRIGIO COME DATO COMUNE A NUMEROSE CAPPELLE



Cappella 14



Cappella 25



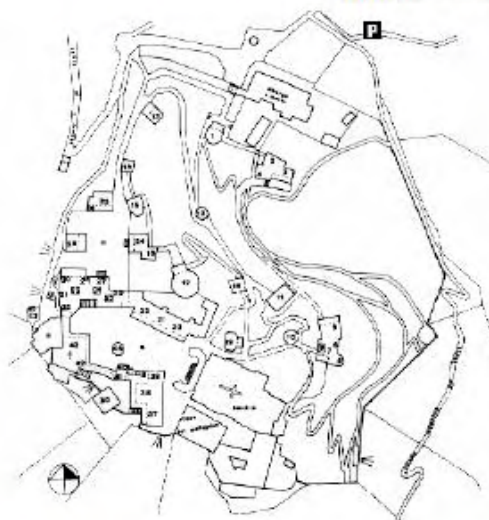
Cappelle 5 e 11



Cappella 17



Cappella 15



Cappella 17



Cappella 28



Cappella 13



Cappella 2



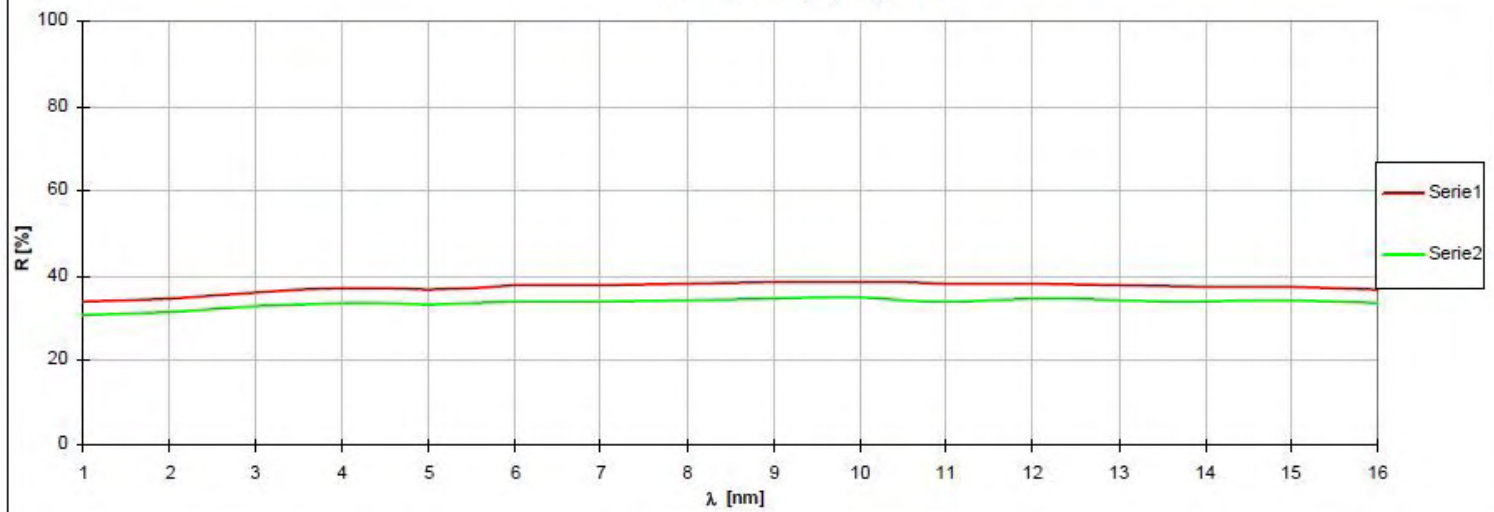
Cappella 36

IL RILIEVO COLORIMETRICO IN SITU

CAPPELLA 14

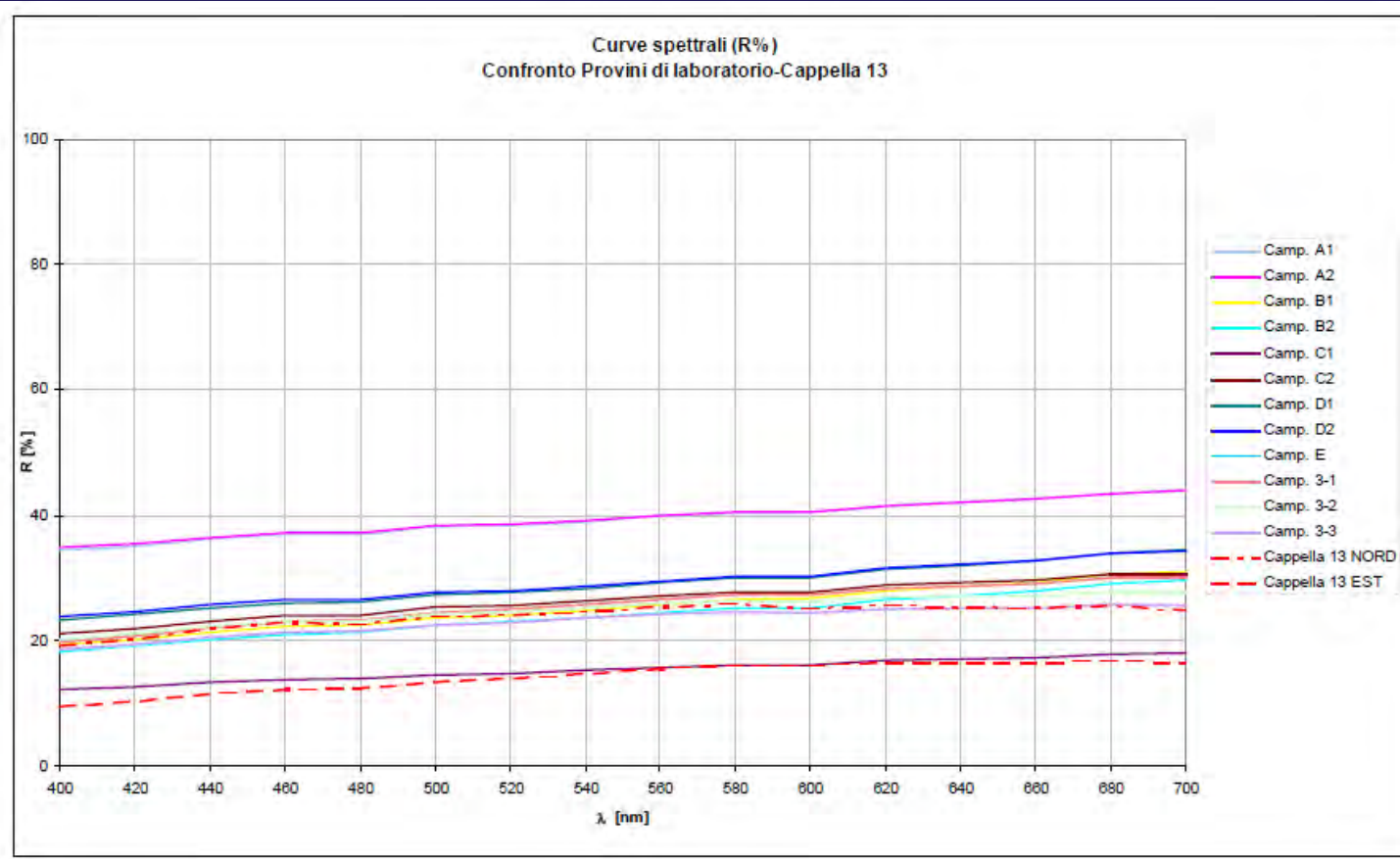


Curve spettrali (R%) cappella 14



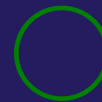
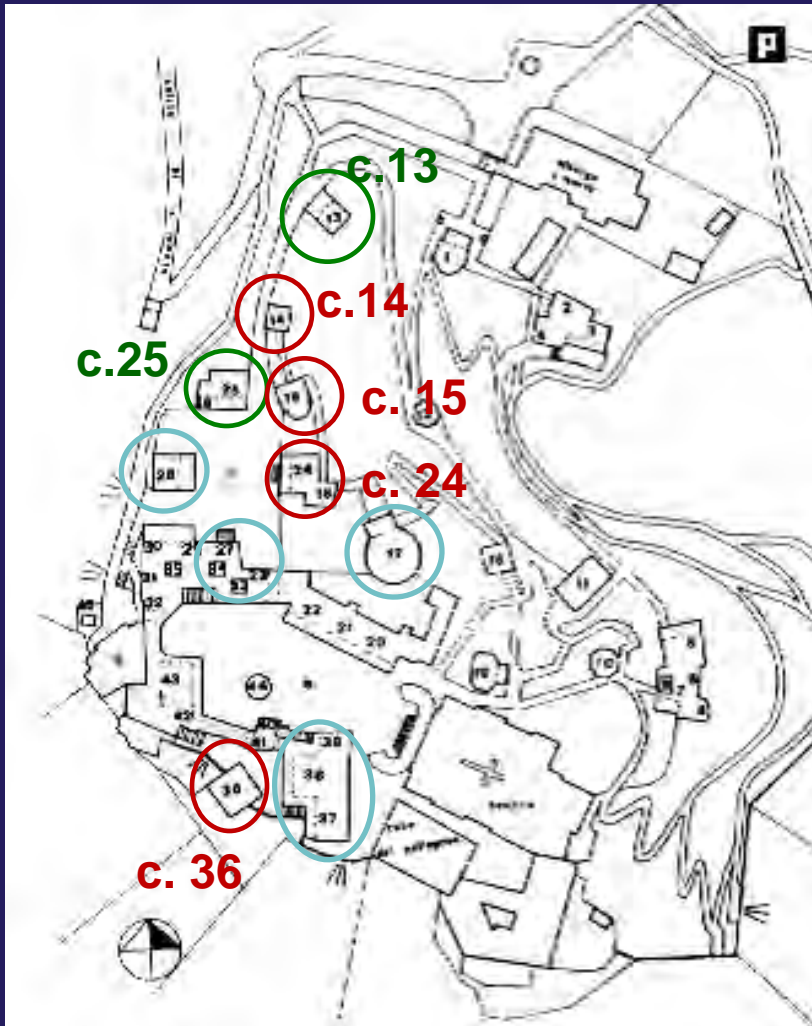
Sono stati rilevati i punti colorimetrici (coordinate CIE Lab) e le curve di riflettanza delle cappelle in cui è presente la finitura grigia.

CONFRONTI

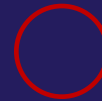


Le coordinate e le curve rilevate di tutte le cappelle sono state confrontate con i quelle dei campioni creati in laboratorio.

LA NUOVA CAMPAGNA DI CAMPIONAMENTO: SCELTA DELLE CAPPELLE



Cappelle esaminate nell'anno 2010-2011



Cappelle esaminate nell'anno 2011-2012



Cappelle esaminate in anni precedenti

CAPPELLE 14 e 15.



Intonaci caratterizzati da numerose similitudini con quelli precedentemente analizzati (cappelle 13 e 25):

- ✓ la **superficie** estremamente **liscia e compatta**,
- ✓ il **colore grigio bluastr**
- ✓ l'**esposizione** (sul fronte maggiormente esposto all'azione dilavante dell'acqua di *stravento*),
- ✓ la **durabilità** (su di un arco temporale di secoli)

CAPPELLA 36



- Documenti d'archivio rispetto all'intervento del 1842
- Impiego del maciaferro e di frammenti di laterizio e "porcellane" nella finitura



Effetto estetico confrontabile / tecnologia differente

CAPPELLA 24



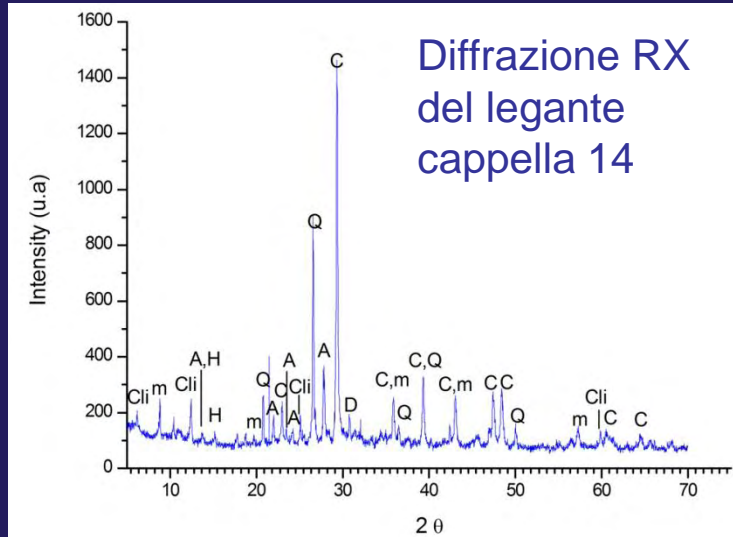
Diffuso degrado superficiale nonostante l'esposizione comune alle altre cappelle e un intervento conservativo recente



Impiego di materiale non idonei?
Presenza di agenti biodeteriogeni?



CARATTERIZZAZIONE DEGLI INTONACI DELLE CAPPELLE 14 E 15.



Strato di arriccio:

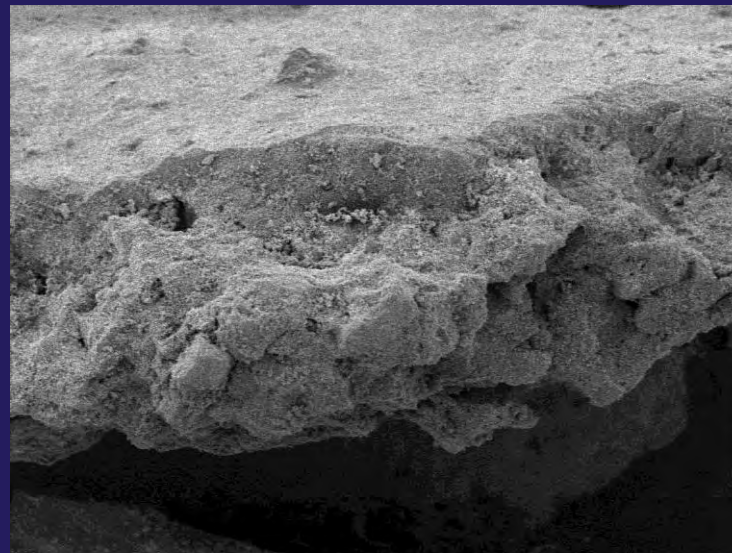
- Calce magnesiaca probabilmente proveniente dai dintorni del Monte Fenera
- Impiego di aggregati locali del fiume Sesia
- Sono presenti depositi di idromagnesite

Finitura:

Spessore inferiore alla finitura della cappella 13.
risultato estetico analogo

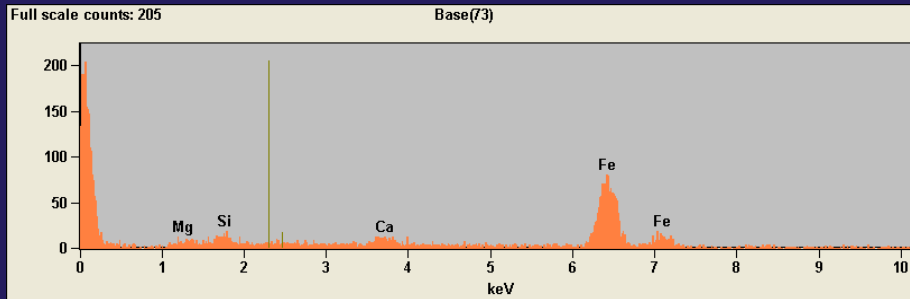


Microscopio	Voltaggio di Accelerazione	Distanza di Lavoro	Rilevatore	
-	20 kV	-	-	—20 μm—



Microscopio	Voltaggio di Accelerazione	Distanza di Lavoro	Rilevatore	
-	20 kV	-	-	—500 μm—

CARATTERIZZAZIONE DEGLI INTONACI DELLA CAPPELLA 36.



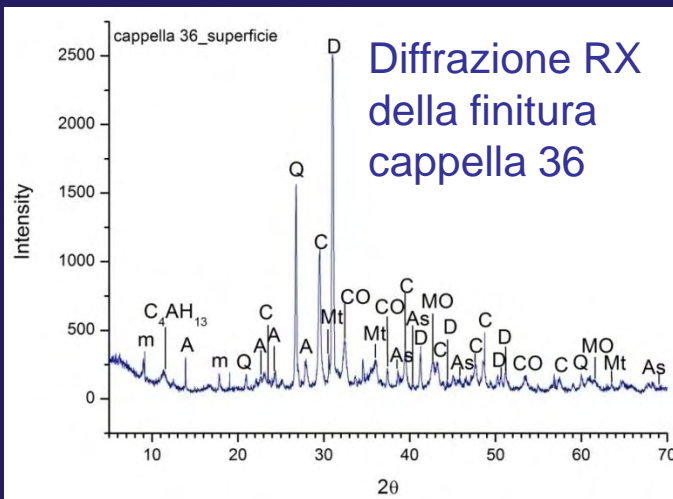
Element	F_1c14 (Weight %)	F_2c24 (Weight %)	F_2c36 (Weight %)	A_2c36 (Weight %)
Ca	76.13	53.01	5.68	58.19
Si	3.53	5.73	2.01	11.68
Mg	17.45	35.4	4.42	19.38
Al	2.88	/	/	2.52
Fe	/	5.86	87.23	8.23
S	/	/	0.65	/

Strato di arriccio:

- Calce magnesiaca e aggregati locali.

Strato di finitura:

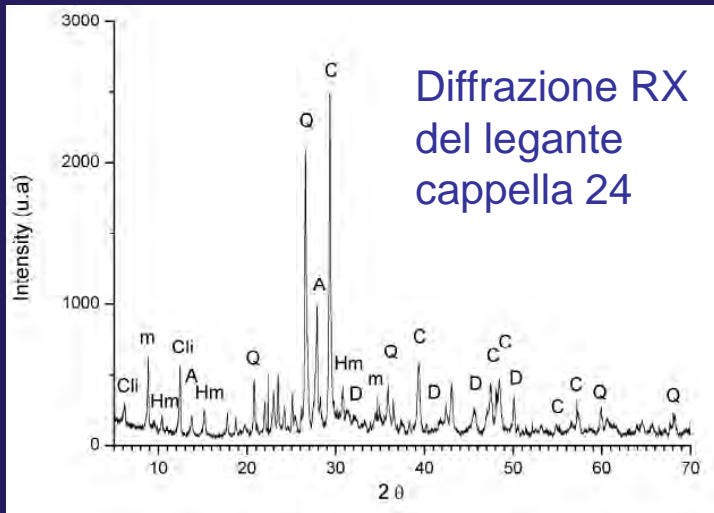
- Presenza di scorie ferrose, come evidenziato dalle analisi degli elementi
- Limitata reazione idraulica



“...la scoria che si separa dal ferro ribollito [...], ridotta in polvere tenuissima serve utilmente a rendere più consistente il cemento che si adopera in molti lavori architettonici, tra i quali gli idraulici esposti alle ingiurie del gelo [...]” da Archivi del proprietario e dell’agricoltore, 1837.

Anche il Milizia cita nel Trattato (1804) l’impiego dei *rosticci* per le superfici esposte all’acqua e al gelo.

CARATTERIZZAZIONE DEGLI INTONACI DELLA CAPPELLA 24.

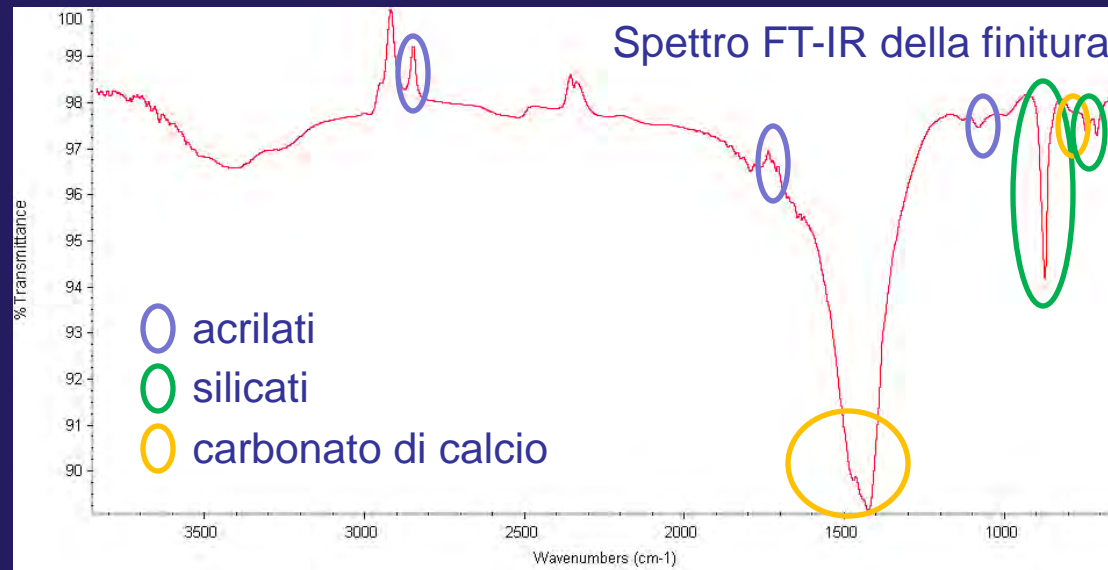
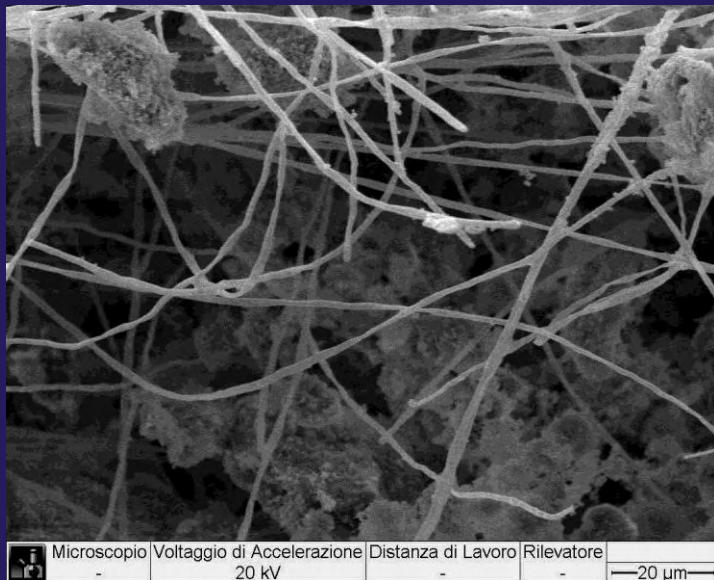


Strato di arriccio:

- Calce magnesiaca e aggregati locali.

Strato di finitura:

- probabile presenza di composti acrilici
- Ambiente idoneo alla formazione di agenti biodeteriogeni





IL CONSOLIDAMENTO CORTICALE

Trattamento in profondità finalizzato a ridare al materiale saldezza e continuità nelle sue caratteristiche fisico meccaniche; è volto a migliorare le caratteristiche di adesione e coesione tra i costituenti del materiale, cercando di **ristabilire le condizioni della materia prima del degrado**.

I REQUISITI DI BASE:

- Compatibilità fisica e chimica con il substrato
- Deve mostrarsi stabile
- Non deve ostruire le porosità
- Deve essere insolubile in acqua
- Deve mostrare stabilità chimica e termica alle radiazioni e ai microrganismi
- Non deve essere tossico né al momento dell'applicazione né successivamente



CONSOLIDANTI ORGANICI

CONSOLIDANTI INORGANICI



NUOVE ESIGENZE NELL'AMBITO DEL CONSOLIDAMENTO:



SOLVENTI:

Volatili

Tossici

Inquinanti

Limitano le proprietà consolidanti

AMMINE (normalmente impiegate nella polimerizzazione delle resine epossidiche):

Irritanti per la pelle

Sospetti cancerogeni

NANOMATERIALI:

non si possono trasferire le informazioni disponibili sugli stessi materiali in forma macro.

Si tratta di composti nuovi con proprietà proprie.

Il restauratore è un soggetto a rischio:

- INALAZIONE
- CONTATTO
- ACCUMULO

Riduzione dei prodotti tossici per un intervento più compatibile e più sostenibile



PERCHE' I MATERIALI IBRIDI?

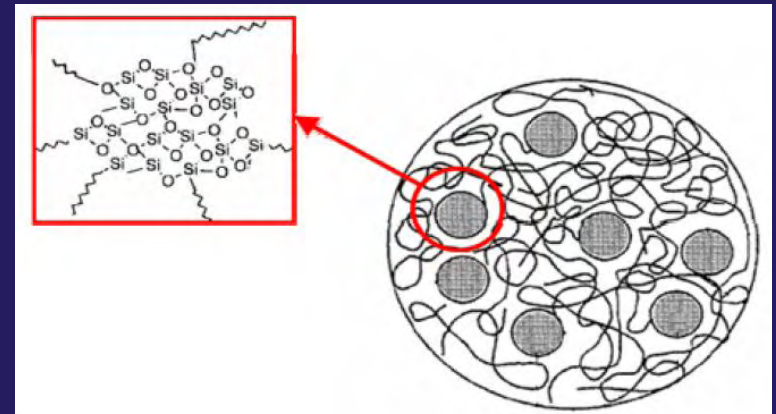
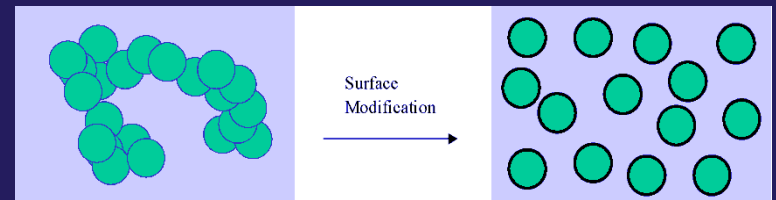
- i domini inorganici conferiscono durezza
- la matrice organica conferisce resistenza, flessibilità e in alcuni casi idrofobicità

COME OTTENERE I MATERIALI IBRIDI?

INTERAZIONE TRA LE 2 FASI

❑ Nanostrutture preformate incorporate nel polimero

❑ Generazione NEL polimero della fase inorganica



I MATERIALI IBRIDI: RESINE EPOSSIDICHE + SILICATO D'ETILE

Reticolazione e formazione delle particelle di silice con l'impiego di un acido (cationica)

La reticolazione dell'epossido può essere ottenuta tramite polimerizzazione cationica per apertura di anello iniziata da un acido.

In queste condizioni, i gruppi silossanici reagiscono **con l'umidità** e generando gruppi silanoli che condensano per formare un reticolo silossanico.

Quindi sia la polimerizzazione per apertura di anello che la reazione sol gel del TEOS sono catalizzate da un acido generato per via UV o termica, ottenendo **due benefici in un solo step**.

Sali di iodonio, itterbio, in seguito a una sollecitazione termica o UV originano un acido protonico che fa iniziare la polimerizzazione



NO AMMINE

Formazione IN SITU dei domini inorganici di dimensione nanometrica dispersi in modo omogeneo



NESSUN CONTATTO CON I NANO MATERIALI



LE FORMULAZIONI STUDIATE

1 Resina epossidica polisilossanica (TEGO RC 1411) + Itterbio

2 Resina epossidica cicloalifatica CE + Itterbio

AGGIUNTA DEL TEOS

- Contribuisce all'incremento delle proprietà meccaniche e della stabilità del film
- Permette di ridurre la viscosità senza impiegare solventi
- Il TEOS. Essendo incorporato nella matrice organica, non è soggetto a craccatura.

REQUISITI:

- Stabilità
- Compatibilità
- Basso contenuto di solventi
- Reticolazione a temperatura ambiente

1

VALUTAZIONE
DELLE PROPRIETA'
DEI FILM

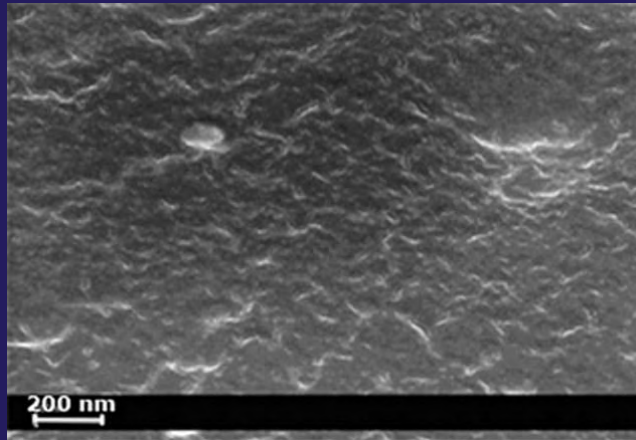
2

APPLICAZIONE A
PENNELLO SU
CAMPIONI DI
INTONACO

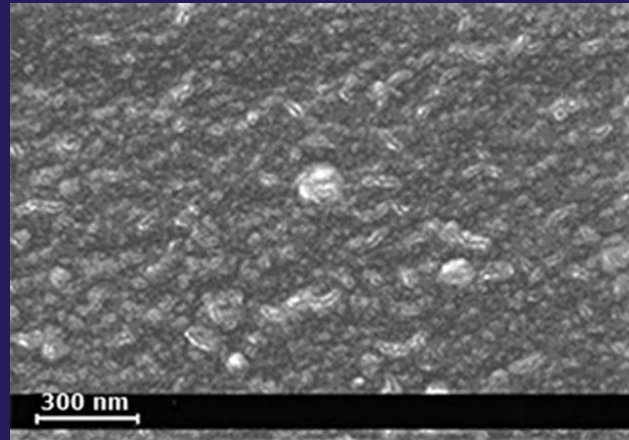
3

VALUTAZIONE
DEGLI INTONACI
CONSOLIDATI

CARATTERIZZAZIONE DEI FILM: OSSERVAZIONI FE-SEM

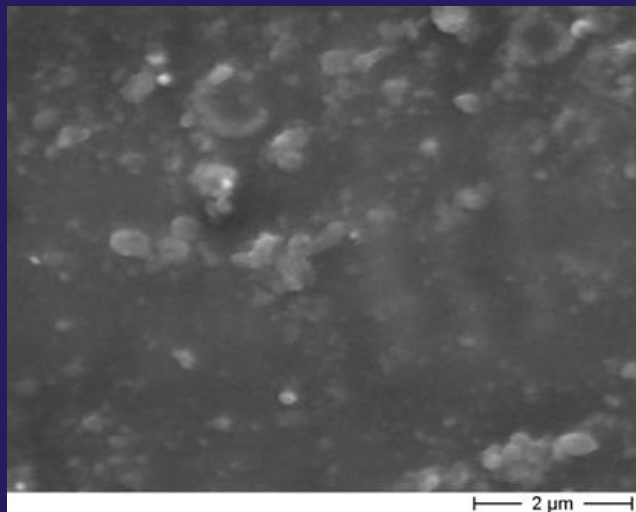


Pristine TEGO



TEGO + 40% TEOS

- I domini inorganici generati in situ sono ben dispersi nella matrice organica e con dimensioni nanometriche
- I cluster di silice hanno una dimensione media di 60–80 nm.



CE+CY+GPTS+40%TEOS

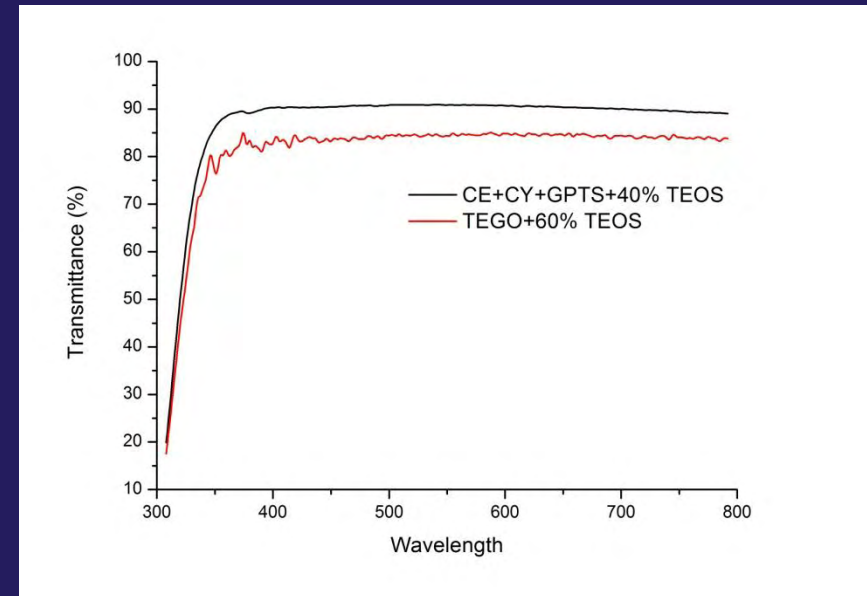
- I domini inorganici sono ben dispersi nella matrice organica
- I cluster di silice hanno dimensione sub-micrometrica
- Il diverso comportamento può essere dovuto alle condizioni ambientali e alle quantità di catalizzatore.



LE PROPRIETA' DEI FILM

In seguito all'aggiunta del TEOS (15-60% phr) si è verificato:

- incremento delle proprietà di adesione
- incremento della durezza superficiale
- incremento del comportamento termico
- formazione di film trasparenti
- l'angolo di contatto della resina polisilossanica è di circa 90° anche in presenza di elevate quantità di TEOS



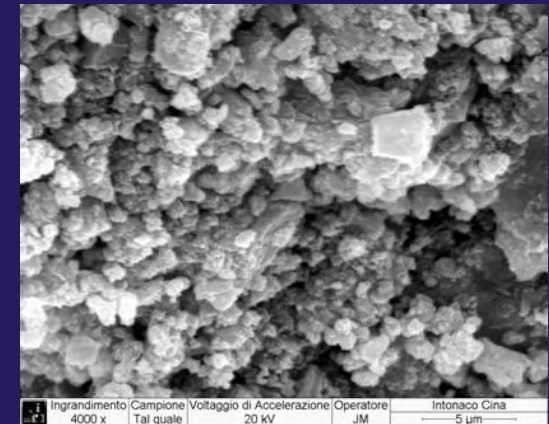
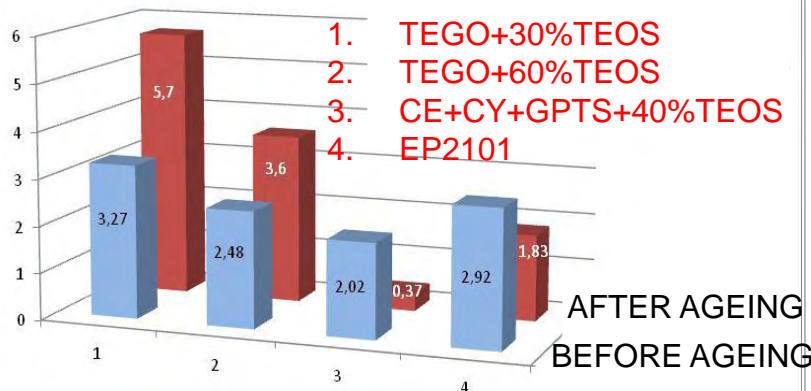
I film sono incolori e trasparenti alla luce visibile

APPLICAZIONE: I PRINCIPALI RISULTATI OTTENUTI

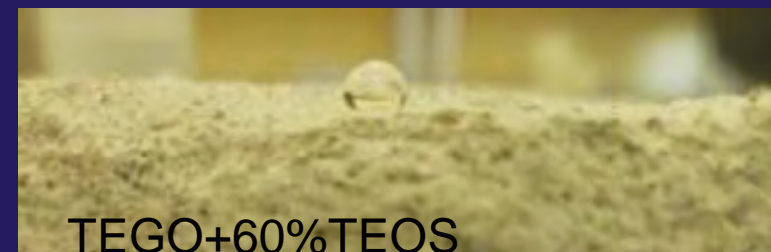
Le migliori performance sono state ottenute in seguito all'aggiunta del 40-60 % di TEOS:

- Riagggregazione dei grani
- profondità di penetrazione: 1,5 cm circa
- Porosità mantenute
- No coating superficiali
- Rallentamento della velocità di risalita capillare dell'acqua.
- Rallentamento del degrado nei cicli di invecchiamento salino
- Limitato ingiallimento e variazione di colore in seguito all'invecchiamento UV per 1000 h.

ΔE VARIATION



Cross Section X4000_ TEGO+60%TEOS



TEGO+60%TEOS



CONCLUSIONI RISPETTO AI 2 CONSOLIDANTI IBRIDI

VANTAGGI	LIMITI	FUTURI SVILUPPI
<ul style="list-style-type: none">• formazione di nanoparticelle di silice• no solventi• no reagenti tossici• tempo di reticolazione coerente con l'applicazione• buona capacità di riaggregazione• rispetto della porosità• buon comportamento in seguito all'esposizione UV e all'invecchiamento salino	<ul style="list-style-type: none">• I valori della Tg non sono ancora ottimali per la formulazione a base di CE• Non è noto il comportamento delle formulazioni applicate in situ e la stabilità in condizioni di invecchiamento reali.	<ul style="list-style-type: none">• Confronti con altri prodotti commerciali e con nanocompositi• Applicazione su una superficie esposta al degrado ambientale• Prove meccaniche• Ulteriore riduzione della Tg per il consolidante a base di CE

SPERIMENTAZIONE IN SEVERE CONDIZIONI AMBIENTALI

- ❖ Applicazione di diverse miscele di intonaco formulate sulla base degli studi condotti, confronti e valutazione del loro comportamento in opera (anche in relazione al requisito di aspetto)



- ❖ Produzione di campioni eseguiti correttamente e di campioni “difettosi”, a disposizione dei Ricercatori dell’INRIM per la messa a punto di sistemi di indagine non invasivi capaci di individuare fenomeni di distacco
- ❖ Applicazione di consolidanti e protettivi con formulazioni sperimentali: verifica del loro comportamento in condizioni di invecchiamento naturale.



PUBBLICAZIONI INERENTI L'ATTIVITA' SVOLTA

Anno 2011

- Formia, A.; Zerbinatti, M.; Tulliani, J.M.; Gomez Serito, M.; De Filippis, E., *Un particolare "intonaco liscio" al Sacro Monte di Varallo Sesia. Approccio pluridisciplinare di indagine per la riproposizione di interventi a carattere conservativo*, in GOVERNARE L'INNOVAZIONE. Processi, strutture, materiali e tecnologie tra passato e futuro, Bressanone, Convegno Internazionale di studi, 21-24 giugno 2011, pp. 635-644.
- Tulliani, J.M.; Formia, A.; Sangermano M., *Organic-inorganic material for the consolidation of plaster*, in: Journal of Cultural Heritage, vol. 12, a. 2011, pp. 364-371.

Anno 2012

- Serra, C.L.; Formia, A.; Zerbinatti, M.; Sangermano, M.; Tulliani, J.M., *Conservation of outdoor plaster finishes in an architectural complex: the case of the Sacro Monte di Varallo Sesia*, in: La conservazione del patrimonio architettonico all'aperto. Superfici, strutture, finiture e contesti, Bressanone, Convegno Internazionale di studi, 10 - 13 luglio 2012, pp. 857-867.
- Formia, A.; Serra, C.L.; Zerbinatti, M.; Sangermano, M.; Tulliani, J.M., *Application of new organic-inorganic materials as consolidants for the deteriorated plaster*, in: TechnoHeritage - International Congress on Science and Technology for the Conservation of Cultural Heritage, Santiago de Compostela (Spain), 2 - 5 ottobre 2012.

Giornata Seminariale Progetto RE-FRESCOS

Giovedì 29 Novembre 2012, Aula Albenga (DISEG)



Work Package (WP) 2

Damage analysis of decorated surface structural support by the Acoustic Emission technique

**Il Sacro Monte di Varallo:
Correlazione tra Emissioni Acustiche e terremoti**

Il Sacro Monte di Varallo



Alla fine del XV secolo, il frate francescano Bernardino Caimi di Milano, di ritorno dalla Terra Santa, decide di riprodurre in Valsesia i luoghi santi di Palestina. Il Sacro Monte, composto da una basilica e da quarantacinque cappelle affrescate e popolate da oltre ottocento statue, ripropone le tappe salienti della vita di Cristo.

La Cappella XVII della Trasfigurazione



Questa cappella fu costruita nell'ambito del progetto generale di rinnovamento del Sacro Monte voluto dal finanziere milanese Giacomo D'Adda e redatto dall'architetto perugino Galeazzo Alessi dopo la prima metà del 1500.

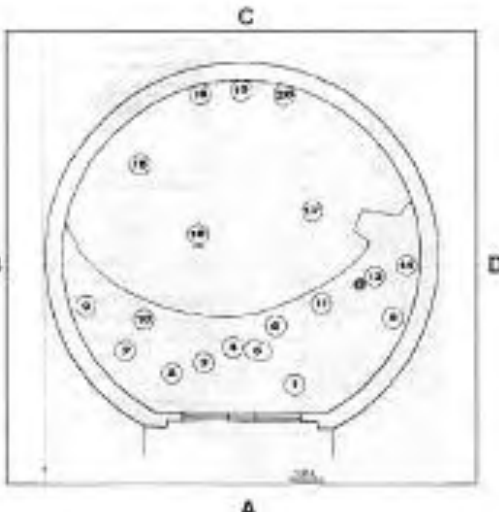
Risultava già iniziata, per la parte relativa alle fondazioni, nel 1572, ma venne ultimata soltanto negli anni sessanta del Seicento.

Condizioni strutturali della Cappella XVII

Lo stato di conservazione della Cappella XVII è sintetizzato nella seguente scheda, contenuta nella “Relazione di verifica ed indagine statica”, redatta nell’Aprile del 2009 dall’Ing. Emanuele Giletti.

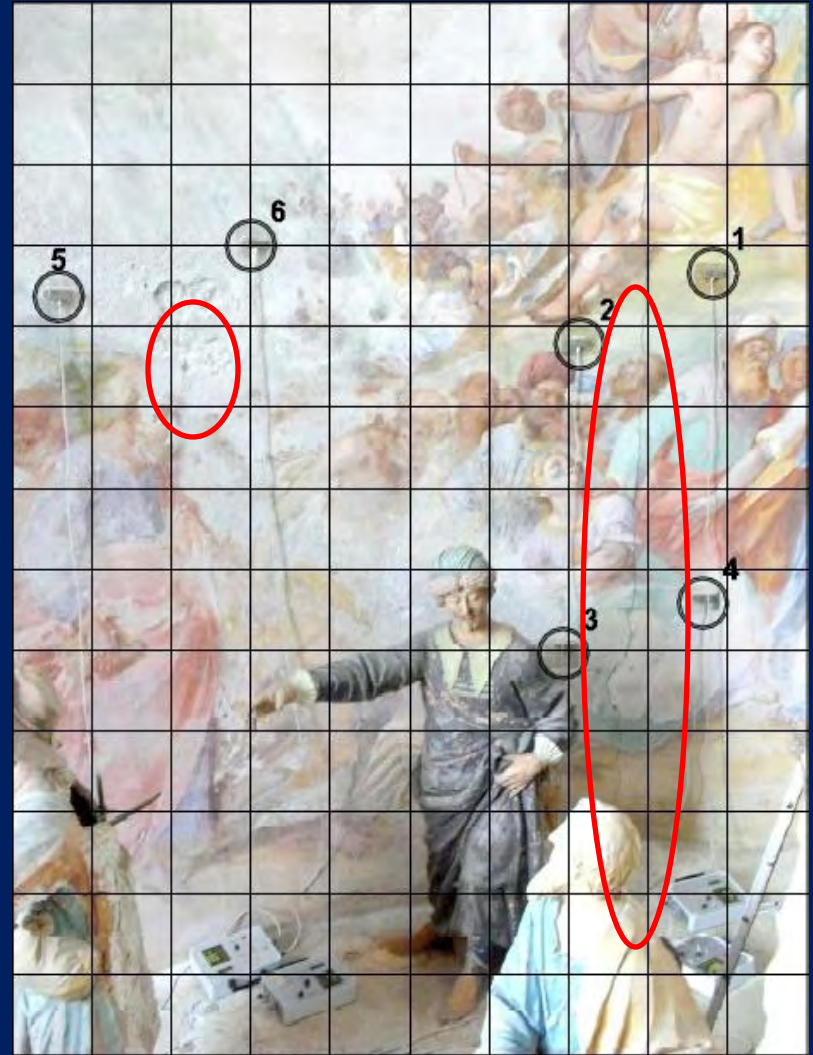
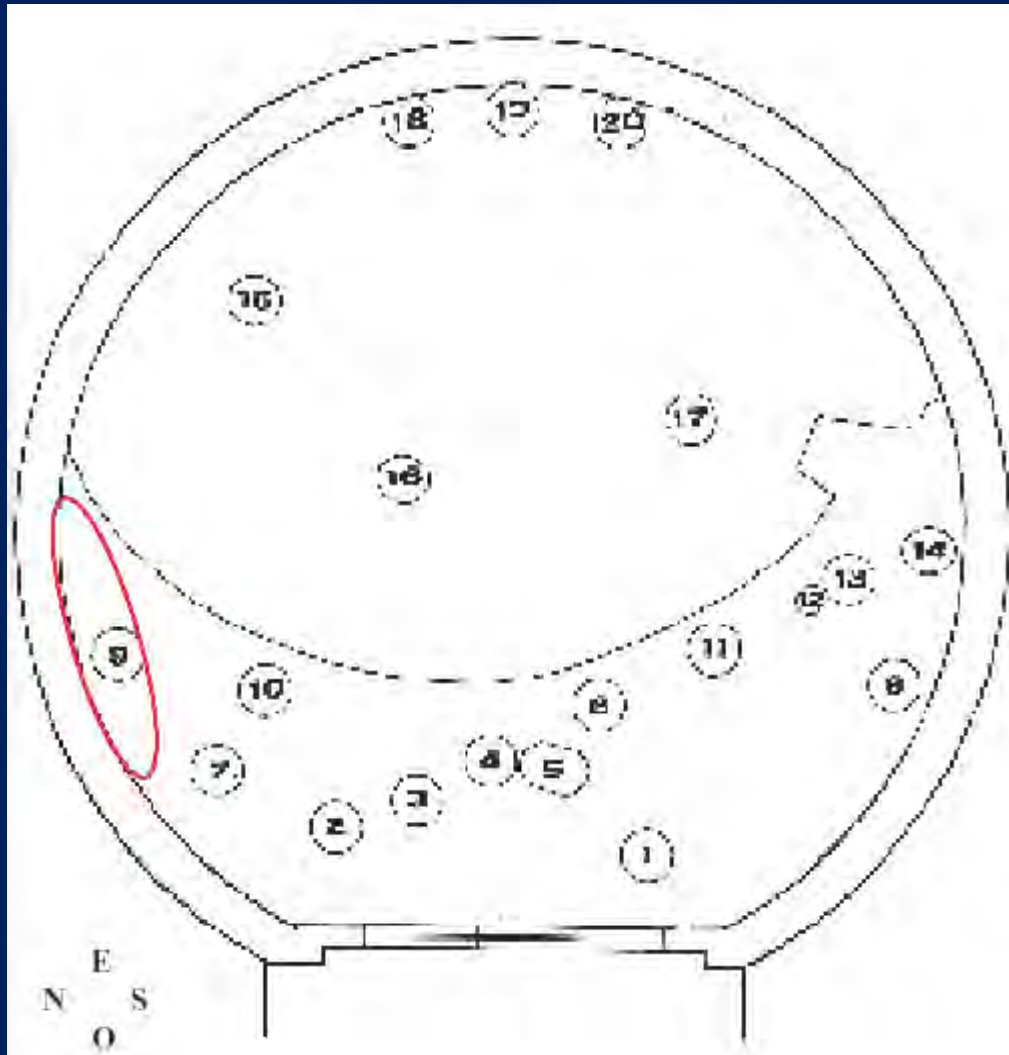
	A	B	C	D	Pronao
25) LESIONI muratura esterna					
25) LESIONI muratura interna		*		*	
27) LESIONI volte					*
28) LESIONI voltini finestre ecc.	*				
29) CORNICIONI		***	***	***	***

*** urgente
 ** indispensabile
 * tenere sotto controllo
 non preoccupante



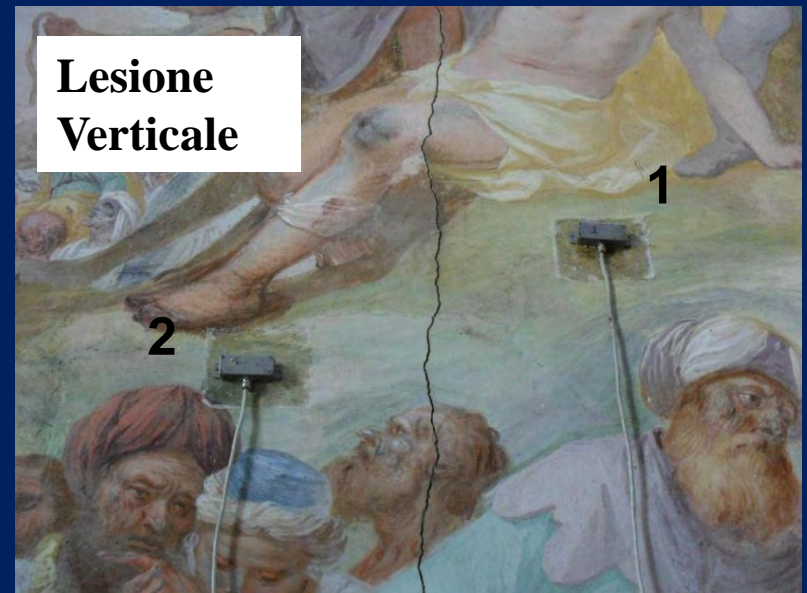
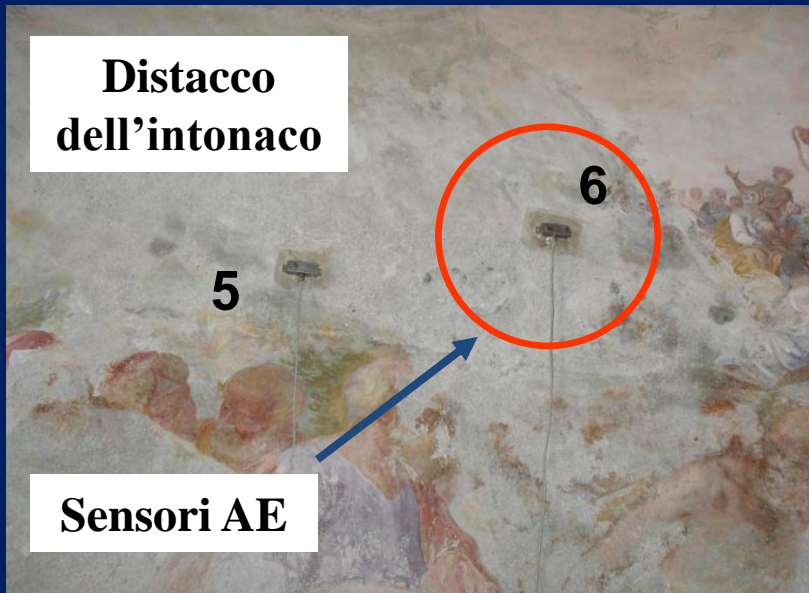
[Ing. E. GILETTI]
 Buono stato di conservazione generale come nel 2001-2004-2007; Nel 2003 restauro della copertura e lanternino
 -Gradinata e pavimento pronao da sistemare
 -Sigillatura frontone pronao e basi colonne
 -Piccole lesioni volta pronao (come 2001-2007)
 -Distacchi di intonaco lato A e piccola lesione voltino (come 2001-2007)
 -Vecchia lesione muro lato B interno, passante verticalmente tra la figura nudo a metà di braccio e la testa ed il braccio manica verde, delle figure sottostanti, (come 2001-2007)
 -Lato D: lesione: lesione su apertura tamponata (come 2001-2007)
 -Impalcato in legno "Monte" in buono stato
 Si dispone di aggiungere 2 fessurimetri per monitorare la lesione lato B
 Sopralluogo 09.04.2009

Zone monitorate



La cappella XVII presenta alcuni segni di danneggiamento. Si è voluto monitorare l'attività AE legata ad una lesione nella muratura ed al distacco dell'intonaco affrescato.

Applicazione dei sensori AE

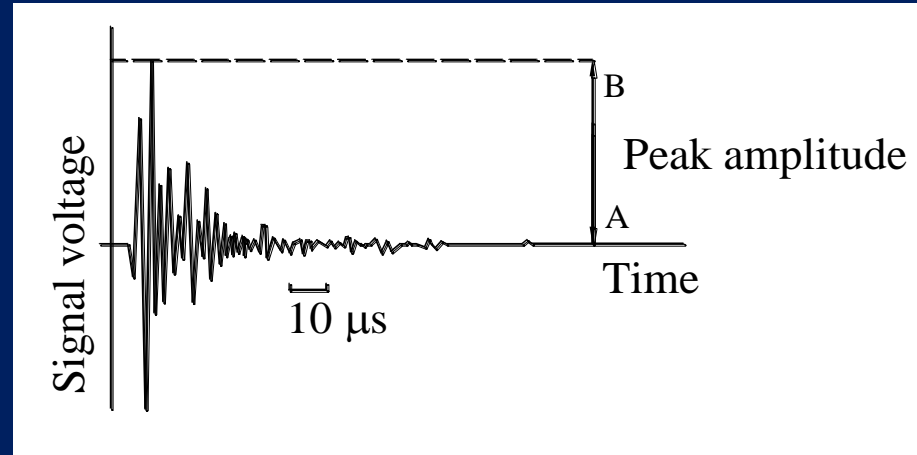
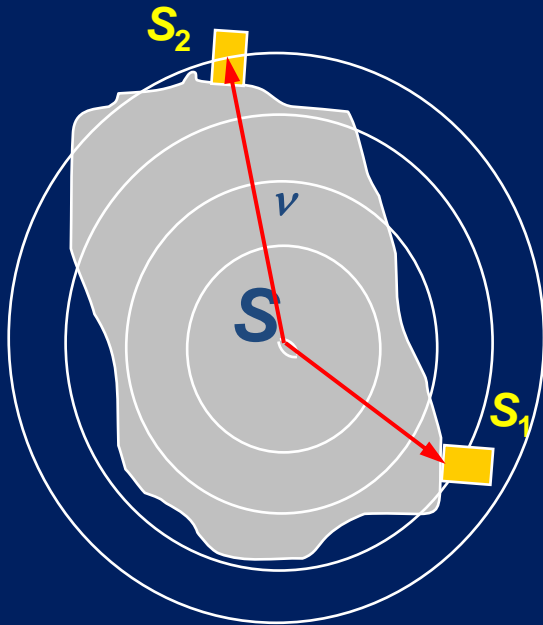


Carta giapponese incollata con una resina acrilica “paraloid” che viene adoperata nel campo del restauro come consolidante a basse concentrazioni (2-4%) o come collante in concentrazioni maggiori.

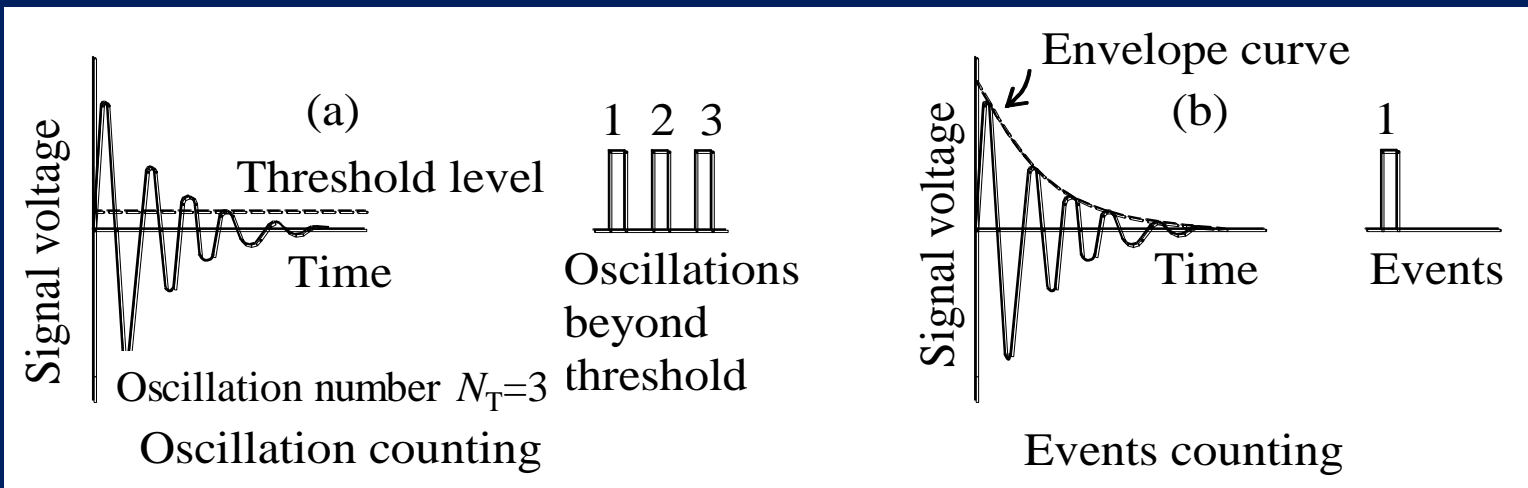
Lo strato di “paraloid” forma un ottima base protettiva per la successiva applicazione, tramite colla siliconica, dei sensori AE.



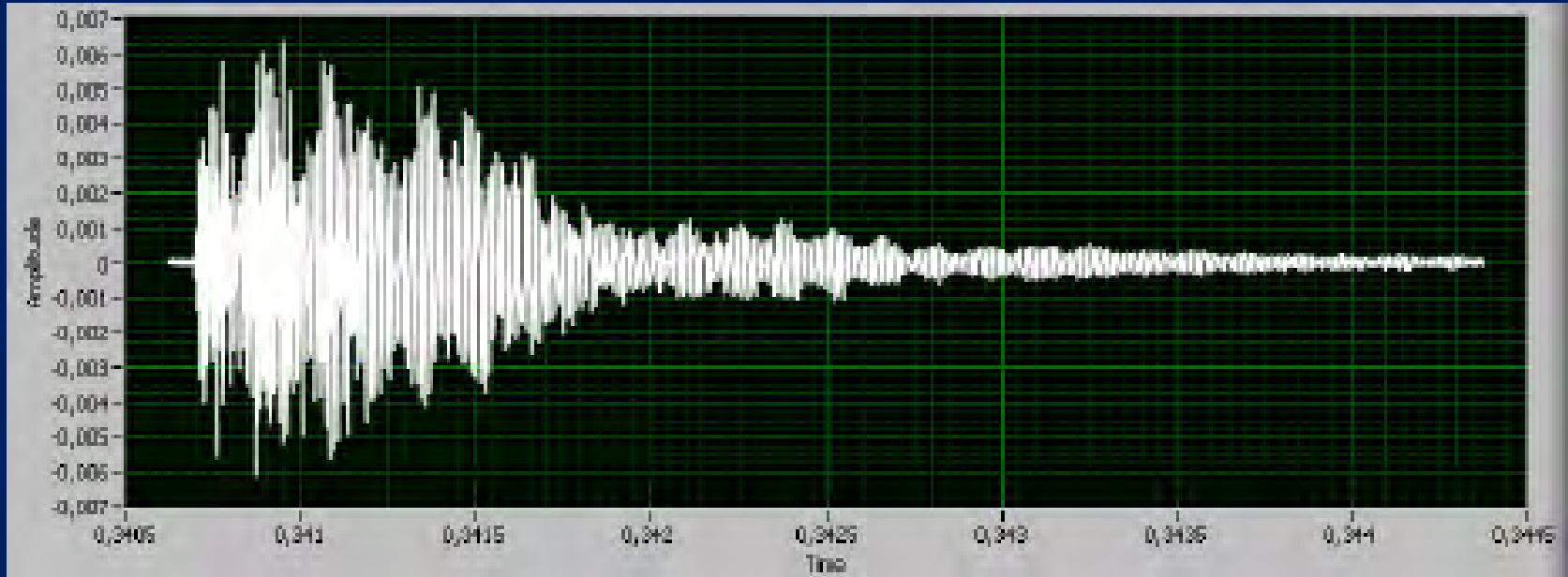
La tecnica delle emissioni acustiche



Il fenomeno della frattura è accompagnato dall'emissione di onde elastiche che si propagano all'interno del materiale. Queste onde possono essere captate da trasduttori PZT applicati alla superficie dell'elemento strutturale.



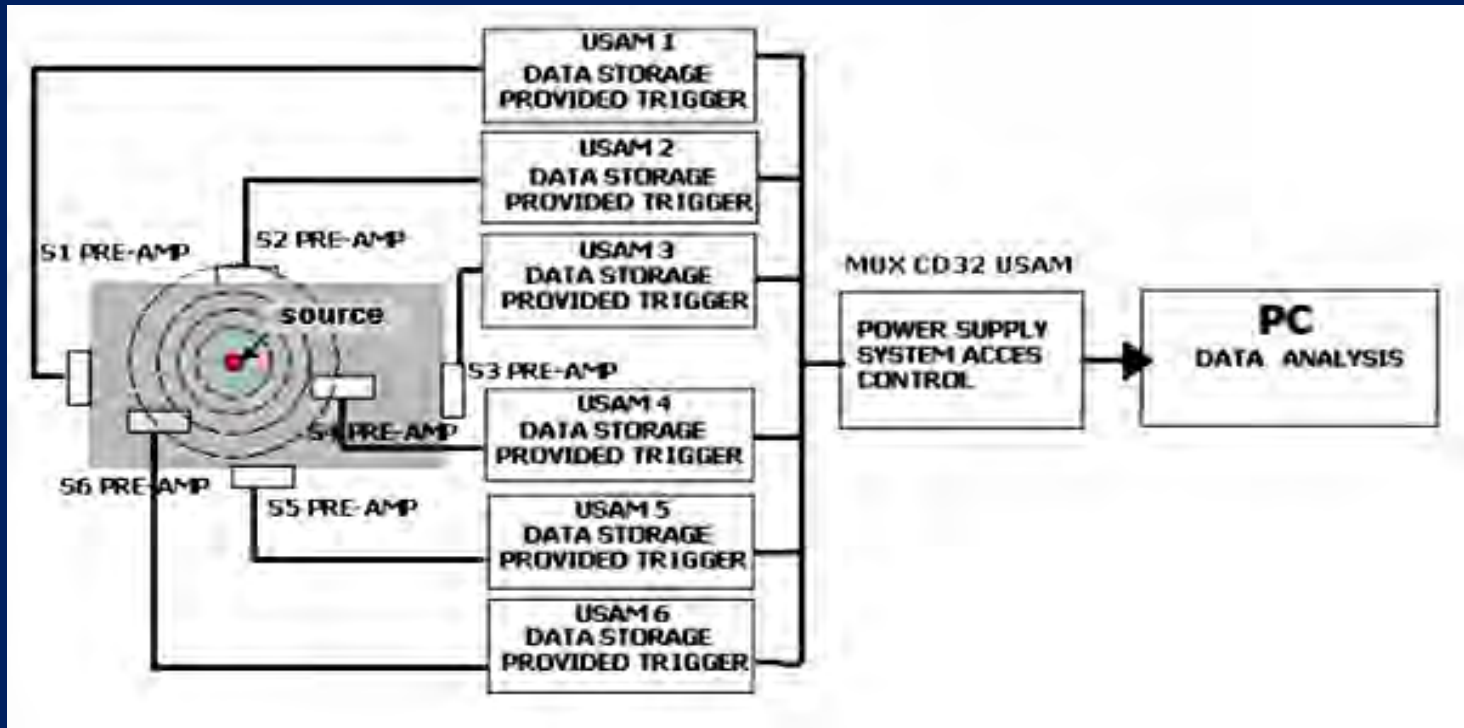
Segnali AE identificato dai sensori



L'onda elastica captata dai sensori come sollecitazione meccanica è pre-amplificata e trasformata in segnale elettrico; quest'ultimo è filtrato per eliminare le frequenze indesiderate.

Il segnale così ottenuto può essere rappresentato come una oscillazione smorzata ed analizzato tramite un misuratore del numero di oscillazioni che superino una certa soglia predeterminata in Volt.

Unità sincrona di acquisizione monocanale - USAM



- I trasduttori piezoelettrici (PZT) sono stati calibrati in un intervallo di frequenze compreso tra 50 e 800 kHz.
- Il sistema di acquisizione USAM consiste di 6 sensori pre-amplificati, 6 unità di immagazzinamento dei dati, un'unità centrale per le operazioni di sincronizzazione ed un misuratore di soglia.
- La caratterizzazione dei dati viene ottenuta tramite il rilevamento, il calcolo in tempo reale ed l'associazione di diversi parametri significativi dell'evento osservato.

Distribuzione cumulativa dei segnali AE: *b*-value

La relazione di Gutenberg-Richter è stata applicata con successo al campo delle emissioni acustiche per lo studio della distribuzione delle ampiezze delle onde AE:

$$\text{Log}_{10}N(\geq m) = a - bm, \quad \text{or} \quad N(\geq m) = 10^{a-bm}, \quad (1)$$

N: cumulato degli eventi di emissione acustica con magnitudo $\geq m$

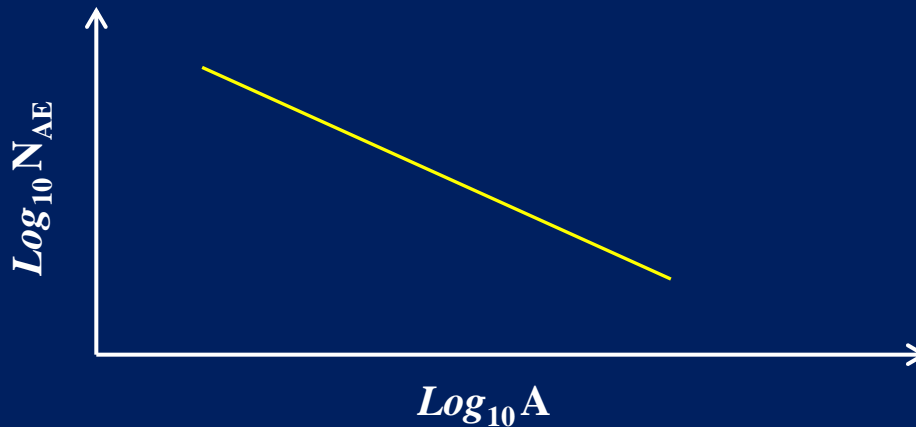
La magnitudo, nel campo delle emissioni acustiche, è definita come segue:

$$m \propto \text{Log}_{10}A_{\text{max}} \quad (2)$$

A_{max} : ampiezza del segnale misurata in microvolt.

Distribuzione cumulativa dei segnali AE: *b*-value

Il *b*-value viene ricavato attraverso il calcolo della pendenza della retta di regressione della serie di eventi AE nel piano bi-logaritmico $\text{Log } N - \text{Log } A$:



$$b = \frac{\text{Log}_{10} N_{AE}}{\text{Log}_{10} A}$$

Il *b*-value cambia durante le fasi del danneggiamento e quindi può essere interpretato come un indicatore del processo di formazione ed evoluzione delle fratture.

b-value $\cong 1.5$ condizioni critiche *b*-value $\rightarrow 1.0$ collasso imminente

Interpretazione del b -value

In analogia con i terremoti, la dimensione del danneggiamento legato alle emissioni acustiche implica la validità della relazione:

$$N(\geq L) = c L^{-D}, \quad (3)$$

N : cumulato degli eventi AE generati da un difetto sorgente con dimensione lineare caratteristica $\geq L$;

L : dimensione lineare del difetto;

c : costante di proporzionalità;

D : dimensione frattale del dominio di danneggiamento.

Interpretazione del b -value

Carpinteri (1994) ha mostrato che le equazioni (1) e (3) sono equivalenti e comportano:

$$D = 2b. \quad (4)$$

Il b -value identifica le modalità di dissipazione energetica durante il monitoraggio. I casi estremi prevedibili sono:

- $b = 1.5 \rightarrow D = 3$: la dissipazione di energia avviene attraverso piccoli difetti distribuiti nel volume;
- $b = 1 \rightarrow D = 2$: la dissipazione di energia avviene lungo una superficie.

Nel primo caso si può osservare un danneggiamento diffuso, nel secondo caso si formano fratture bi-dimensionali che portano al collasso l'elemento strutturale.

Carpinteri, A., "Scaling laws and renormalization groups for strength and toughness of disordered materials". *International Journal of Solids and Structures*, 31, 291-302 (1994).

Carpinteri, A., Lacidogna, G., Puzzi, S., "From criticality to final collapse: evolution of the " b -value" from 1.5 to 1.0", *Chaos, Solitons & Fractals*, 41, 843-853 (2009).

Dipendenza dal tempo dei segnali AE: β_t

La dissipazione di energia, misurata con la tecnica delle emissioni acustiche durante un processo di danneggiamento, segue la legge temporale:

$$W \propto N \propto t^{\beta_t}, \text{ with } 0 \leq \beta_t \leq 3,$$

W : energia dissipata;

N : cumulata degli eventi AE ottenuti durante il monitoraggio;

t : durata del monitoraggio;

β_t : esponente del tempo scala per l'energia rilasciata.

Estrapolando l'esponente β_t dai dati ottenuti durante il periodo di osservazione, si può effettuare una predizione sulle condizioni di stabilità della struttura:

$\beta_t < 1$: il processo è stabile;

$\beta_t \cong 1$: il processo è metastabile;

$\beta_t > 1$: il processo tende all'instabilità.

Prima fase di monitoraggio

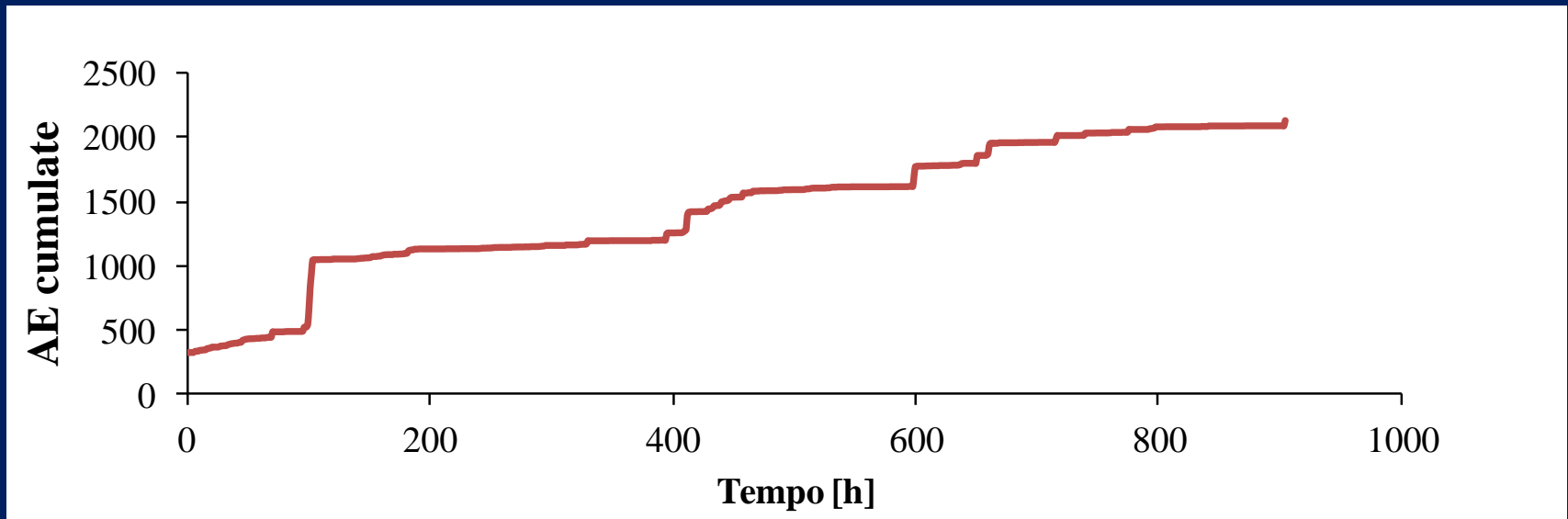
- (a) **Dati complessivi AE**
9 maggio 2011 - 16 giugno 2011
- (b) **Monitoraggio della lesione**
Sensori 1, 2, 3, 4.
- (c) **Monitoraggio del distacco dell'intonaco**
Sensori 5, 6.

Seconda fase di monitoraggio

- (a) **Dati complessivi AE**
5 luglio 2011 - 5 settembre 2011
- (b) **Monitoraggio della lesione**
Sensori 1, 2, 3, 4.
- (c) **Monitoraggio del distacco dell'intonaco**
Sensori 5, 6.

Dati complessivi di monitoraggio

9 maggio 2011 - 16 giugno 2011

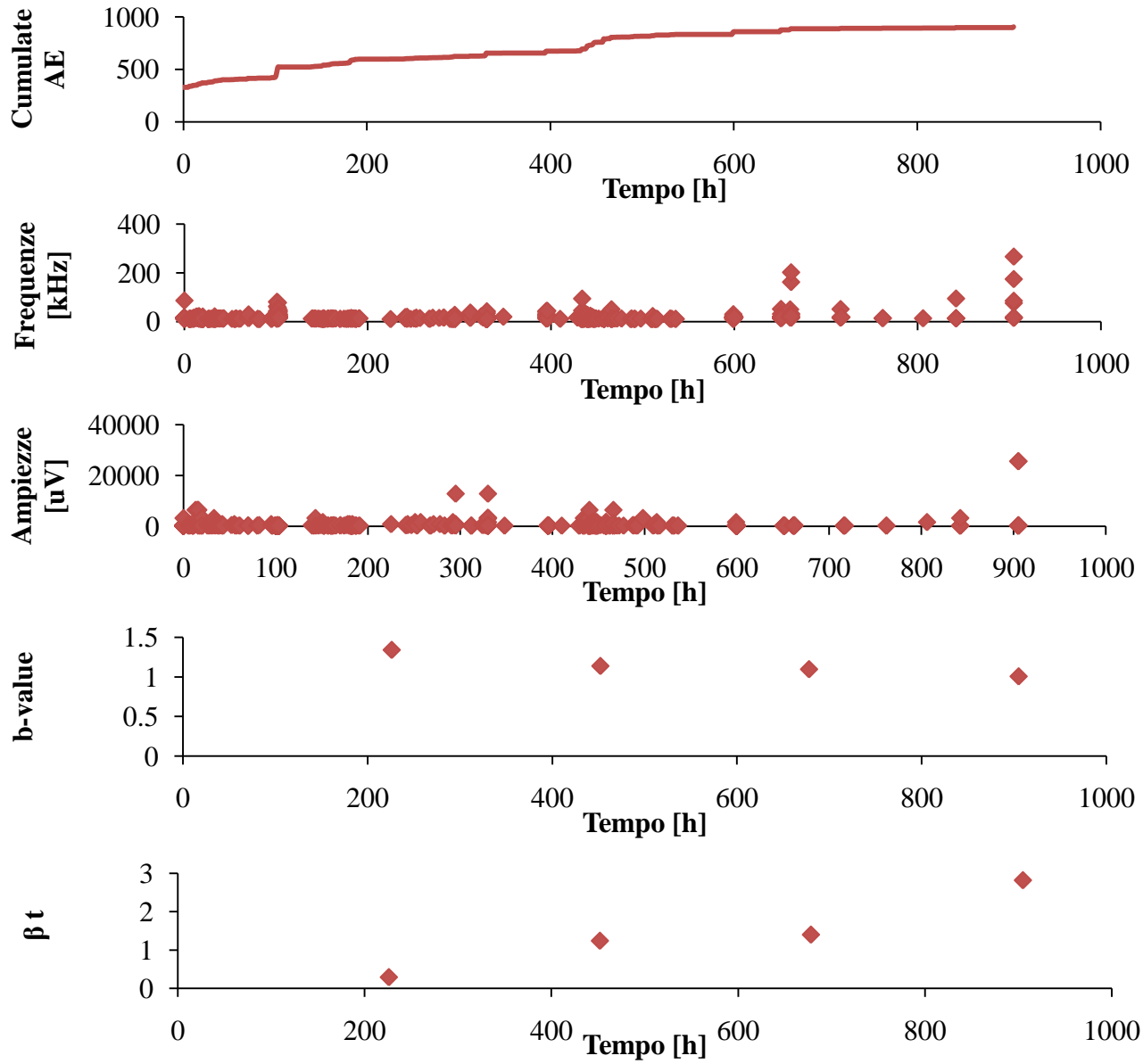


(a)

Monitoraggio della lesione

9 maggio 2011 - 16 giugno 2011

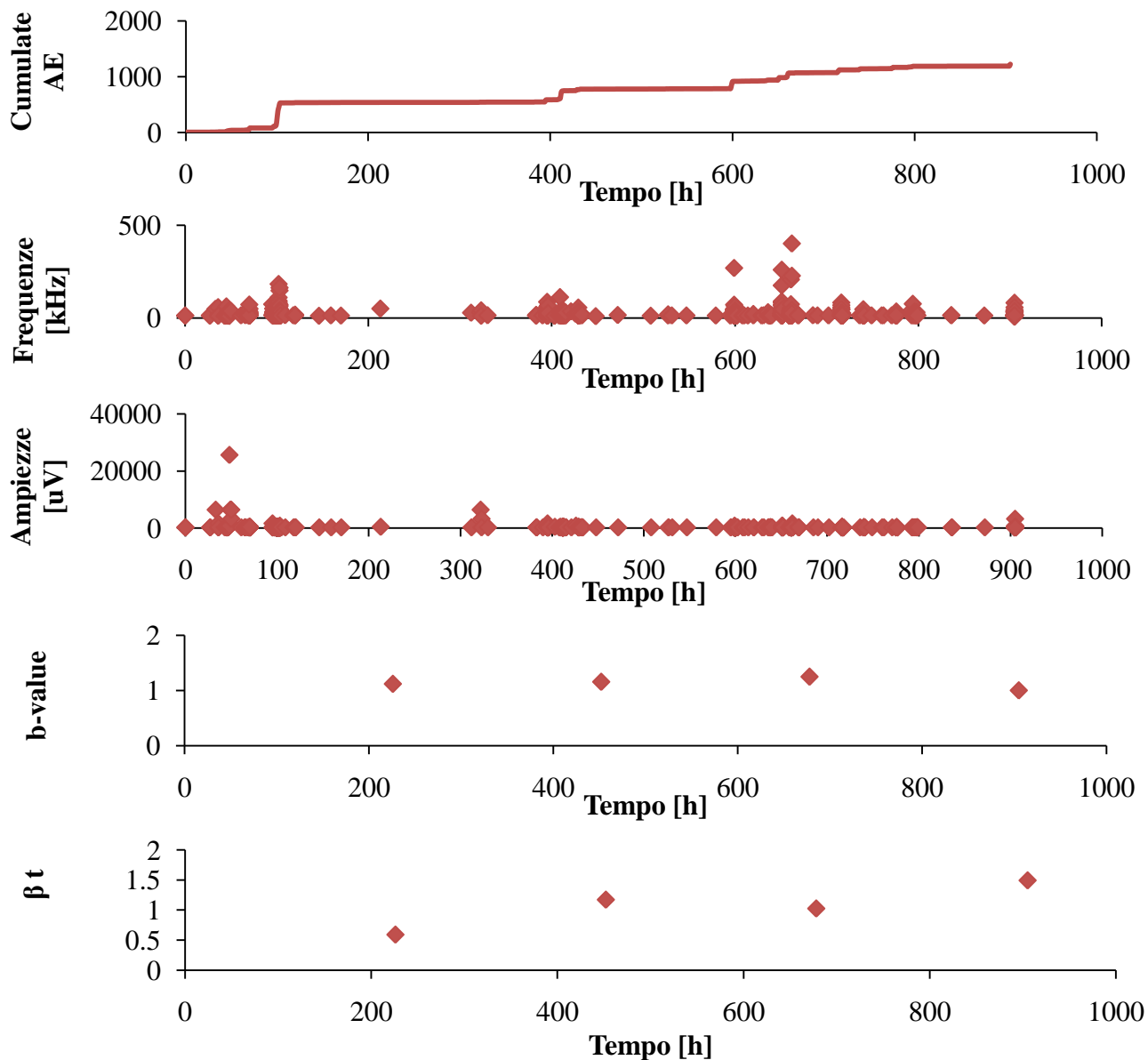
(b)



Monitoraggio del distacco dell'intonaco

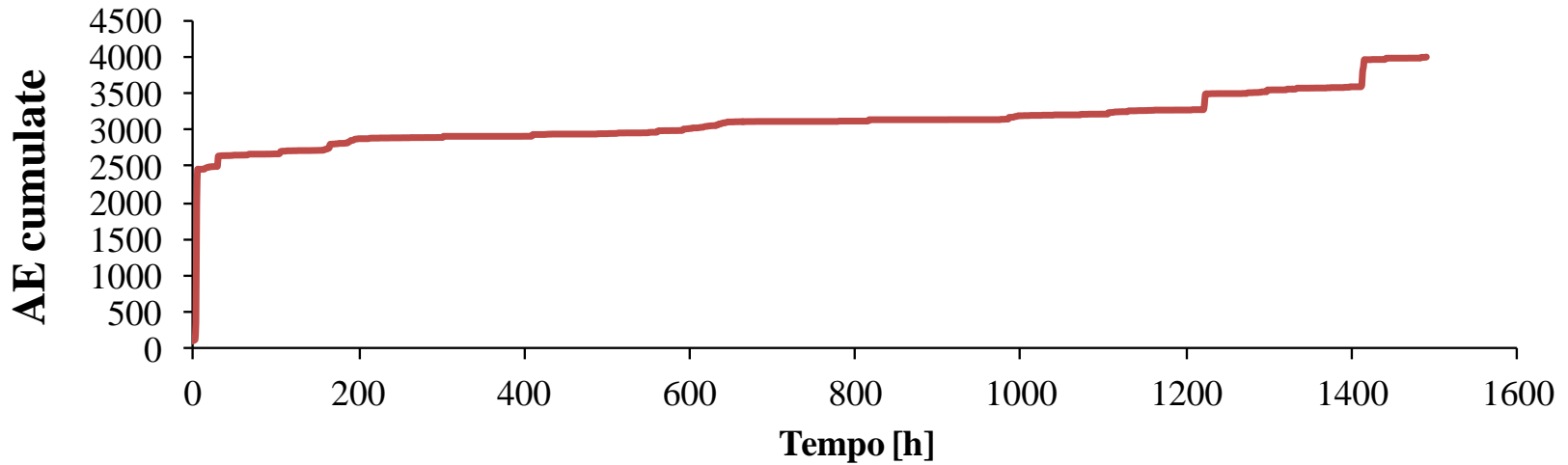
9 maggio 2011 - 16 giugno 2011

(c)



Dati complessivi di monitoraggio

5 luglio 2011 - 5 settembre 2011

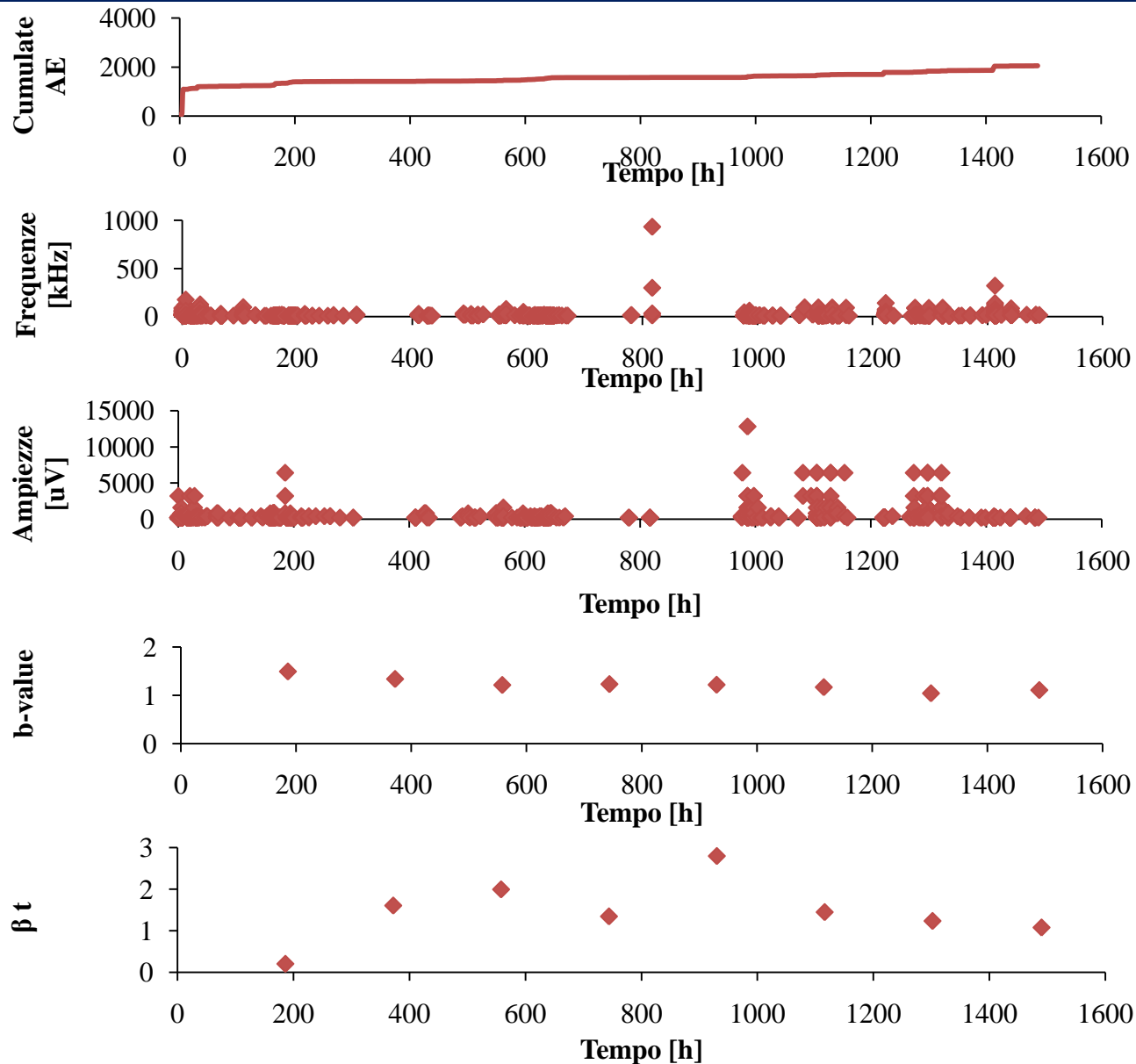


(a)

Monitoraggio della lesione

5 luglio 2011 - 5 settembre 2011

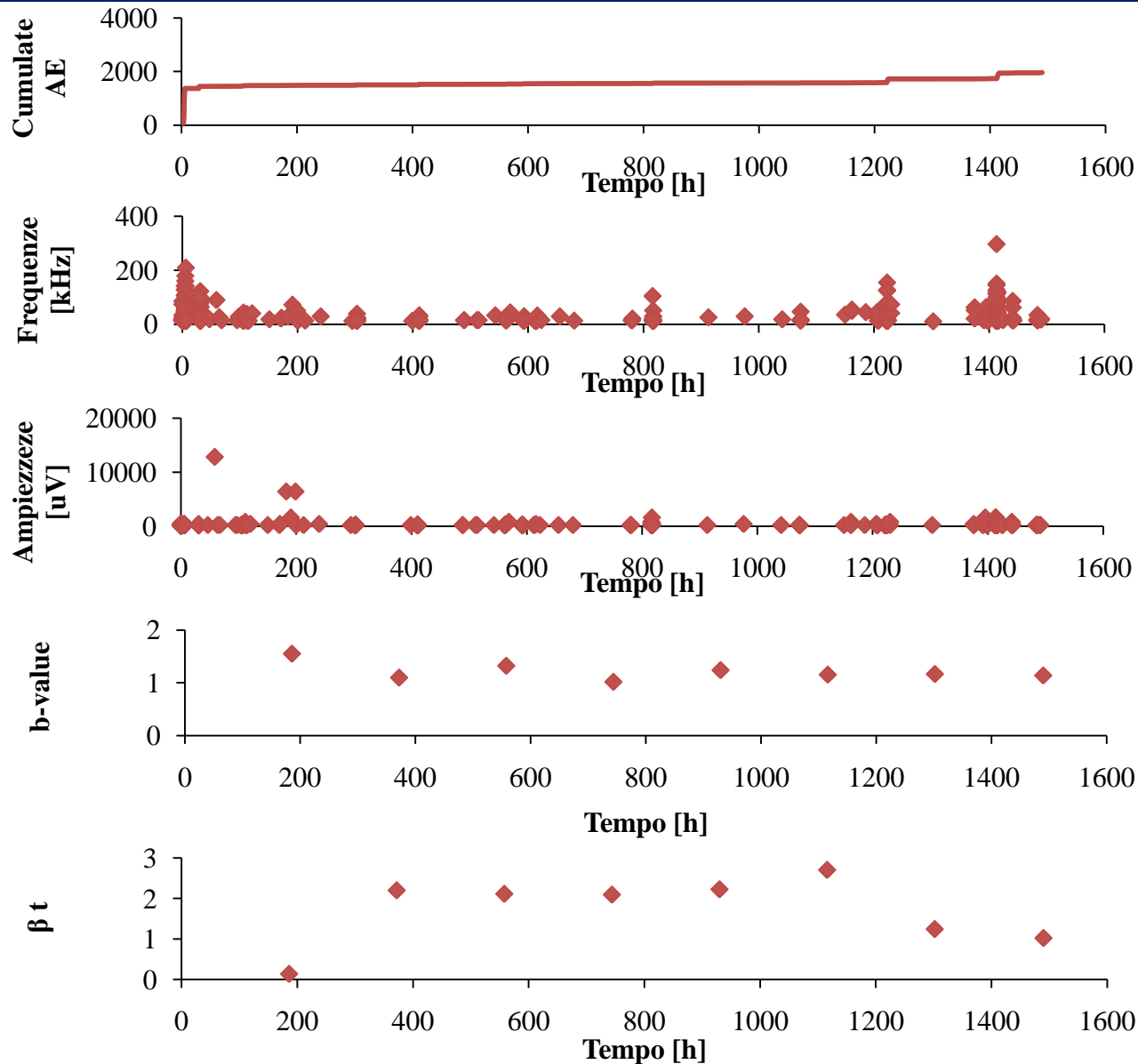
(b)



Monitoraggio del distacco dell'intonaco

5 luglio 2011 - 5 settembre 2011

(c)



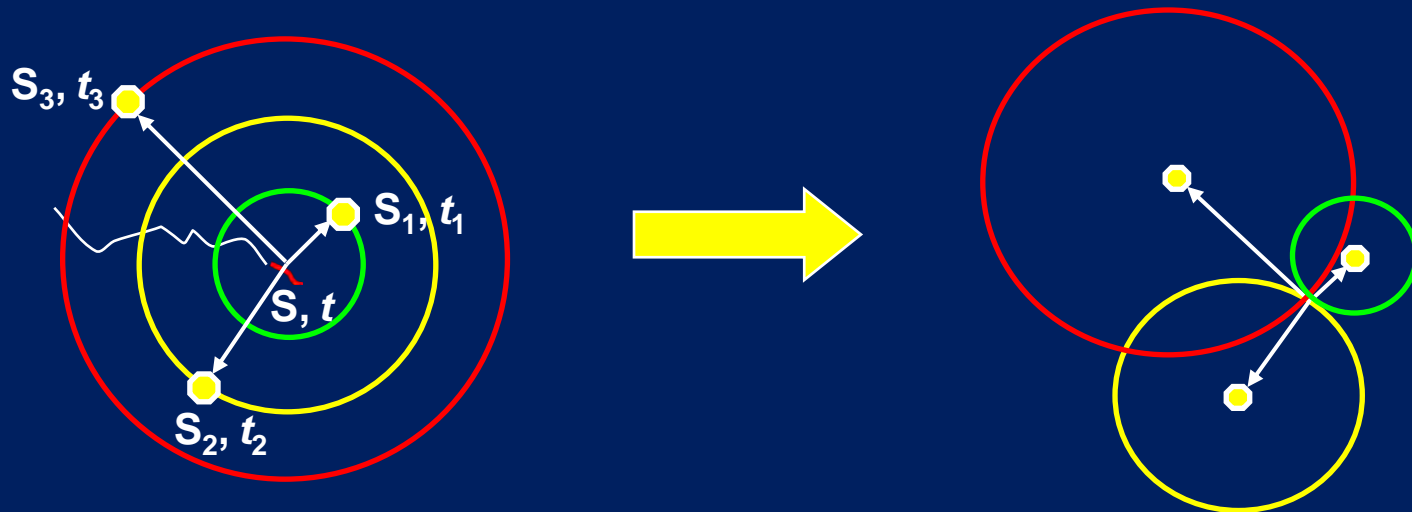
Il problema della localizzazione

Il tempo che impiega un segnale di emissione acustica per percorrere la distanza tra la sorgente in posizione (x_0, y_0, z_0) ed un sensore in posizione (x_A, y_A, z_A) è calcolato tramite la seguente relazione:

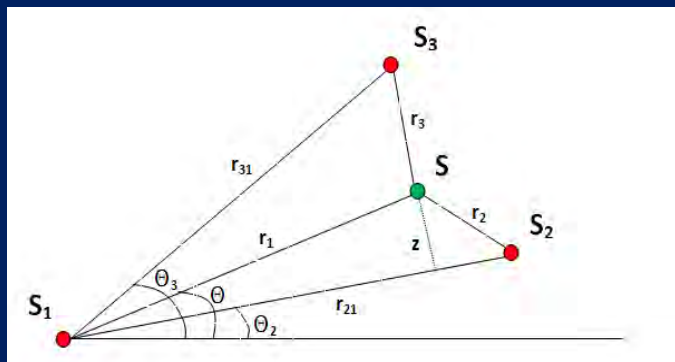
$$T_A = \left[(x_0 - x_A)^2 + (y_0 - y_A)^2 + (z_0 - z_A)^2 \right]^{1/2} / c,$$

L'equazione precedente ha tre incognite, quindi per localizzare una sorgente occorre che almeno tre sensori captino uno stesso evento. Ai fini dell'individuazione dell'istante di emissione è necessario un quarto sensore di riferimento.

$$\Delta t_A = T_A - T_R = \left[(x_0 - x_A)^2 + (y_0 - y_A)^2 + (z_0 - z_A)^2 \right]^{1/2} / c - T_R.$$



Localizzazione delle sorgenti AE



Considerando il triangolo SS_1S_2 si può scrivere:

$$r_2 - r_1 = v\Delta t_{21}$$

$$z = r_1 \sin(\theta - \theta_2)$$

$$z^2 = r_2^2 - [r_{21} - r_1 \cos(\theta - \theta_2)]^2$$

Sostituendo la seconda equazione nella terza si ottiene:

$$r_1^2 = r_2^2 - r_{21}^2 + 2r_{21}r_1 \cos(\theta - \theta_2)$$

Eliminando r_2 e ricordando che $r_i = v(t_i - t_0)$ si ottiene:

$$r_1 = \frac{r_{21}^2 - \Delta t_{21}^2 v^2}{2(\Delta t_{21} v + r_{21} \cos(\theta - \theta_2))}$$

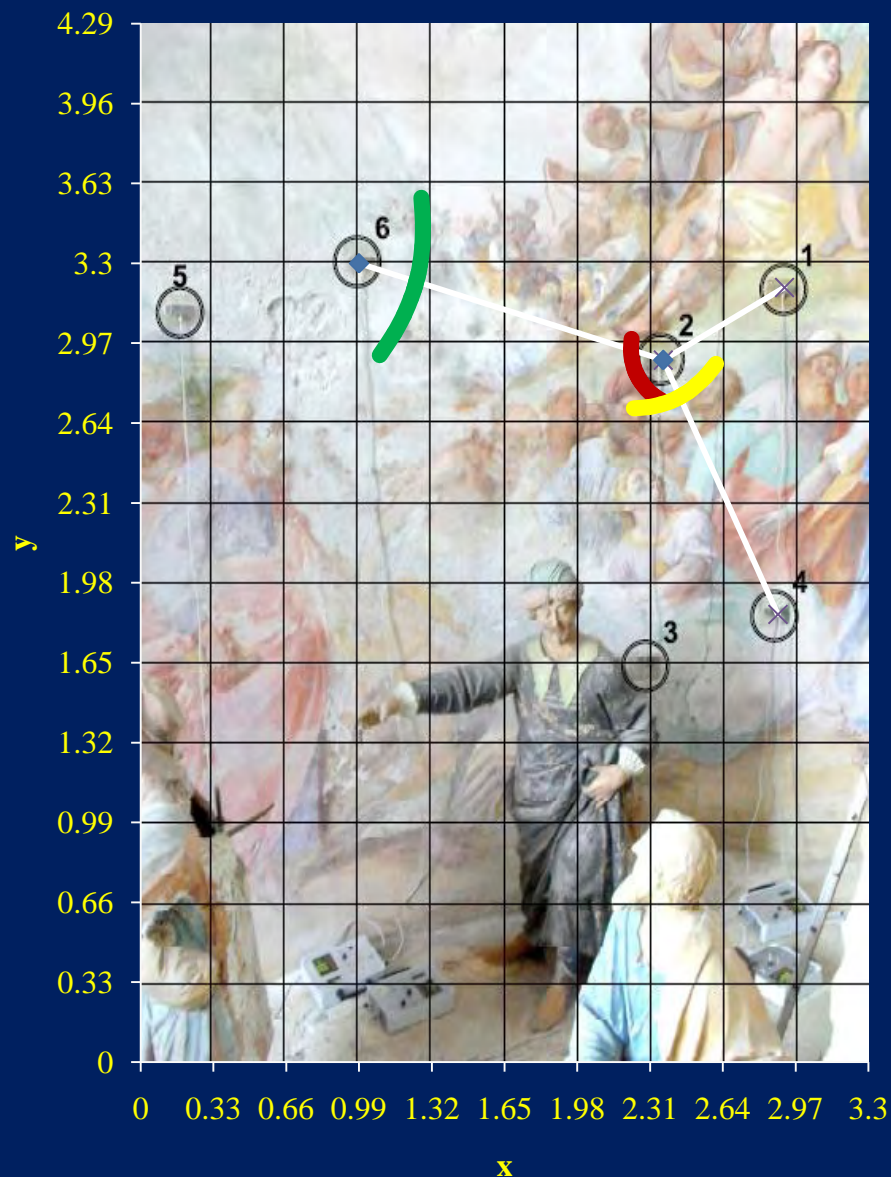
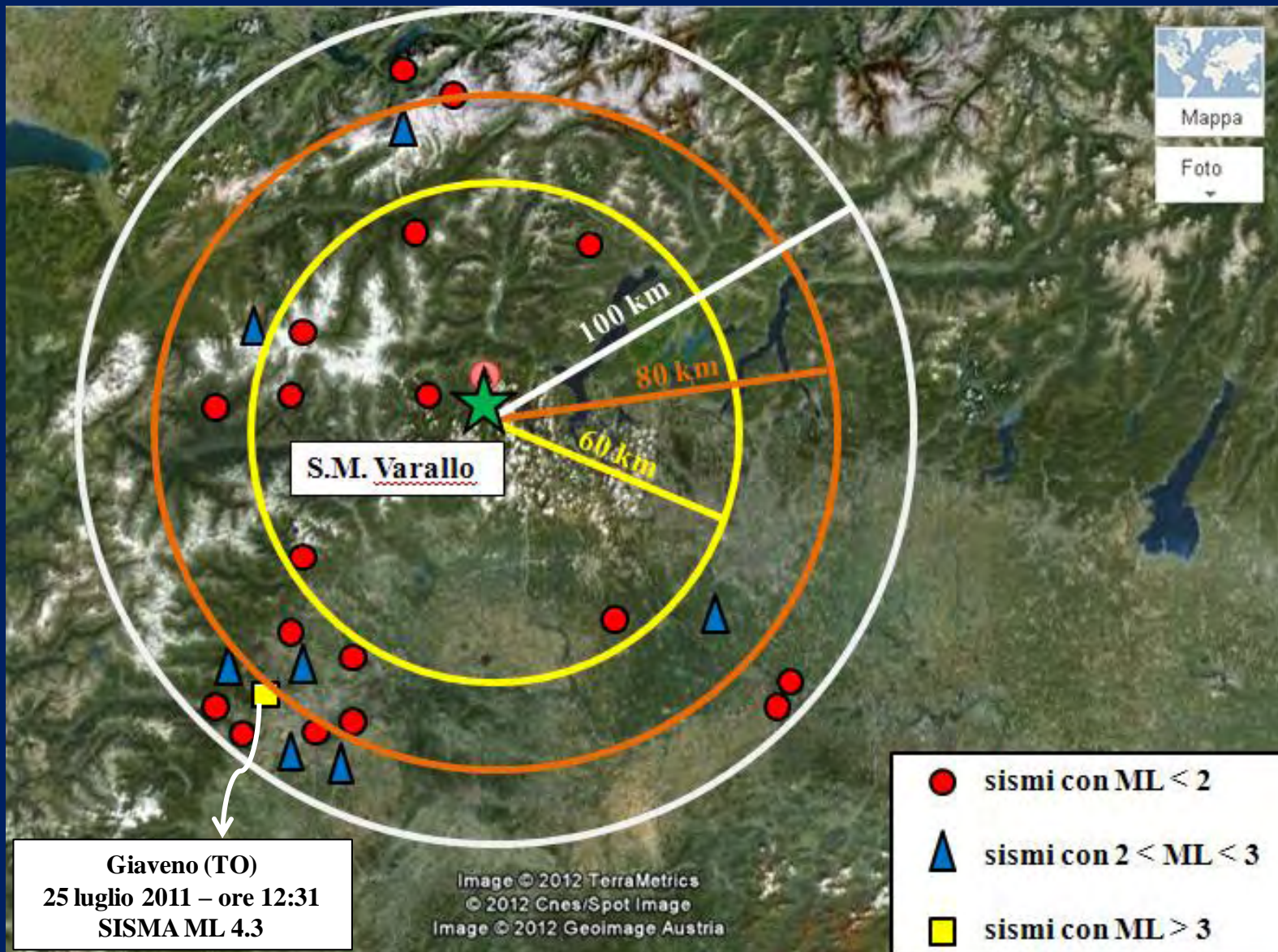


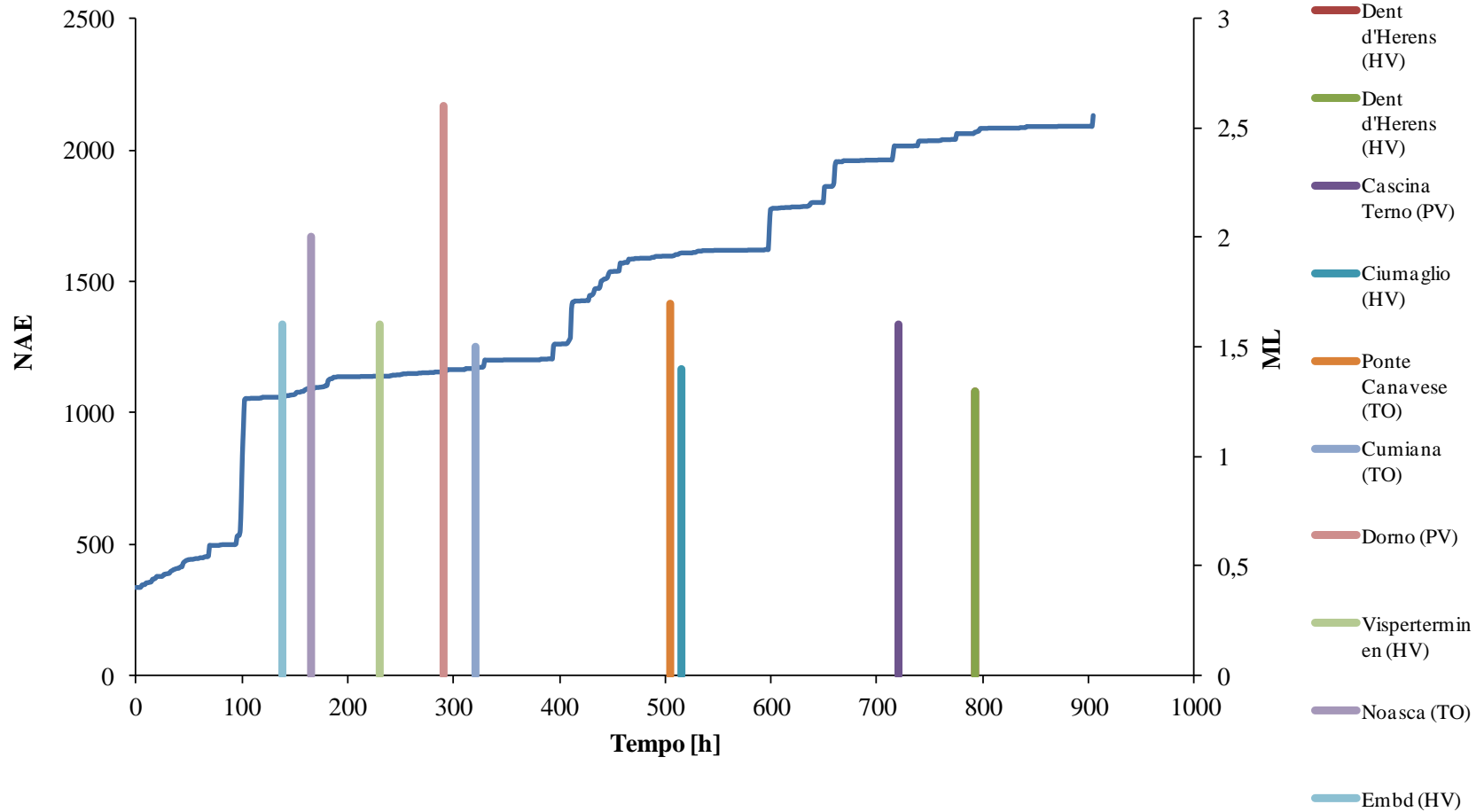
Grafico delle regioni di confidenza

L'emissione acustica come precursore sismico



Eventi sismici ed emissioni acustiche

monitoraggio 9 maggio 2011 - 16 giugno 2011



Algoritmo di Grassberger – Procaccia

monitoraggio 9 maggio 2011 - 16 giugno 2011

Tab. probabilità cumulata C+ AE come precursore

	60 km	80 km	100 km
1 settimana	0.0339	0.1121	0.2018
2 settimane	0.0772	0.2130	0.3661
3 settimane	0.1228	0.3018	0.4875
4 settimane	0.1487	0.3661	0.5549
5 settimane	0.1630	0.4321	0.6210

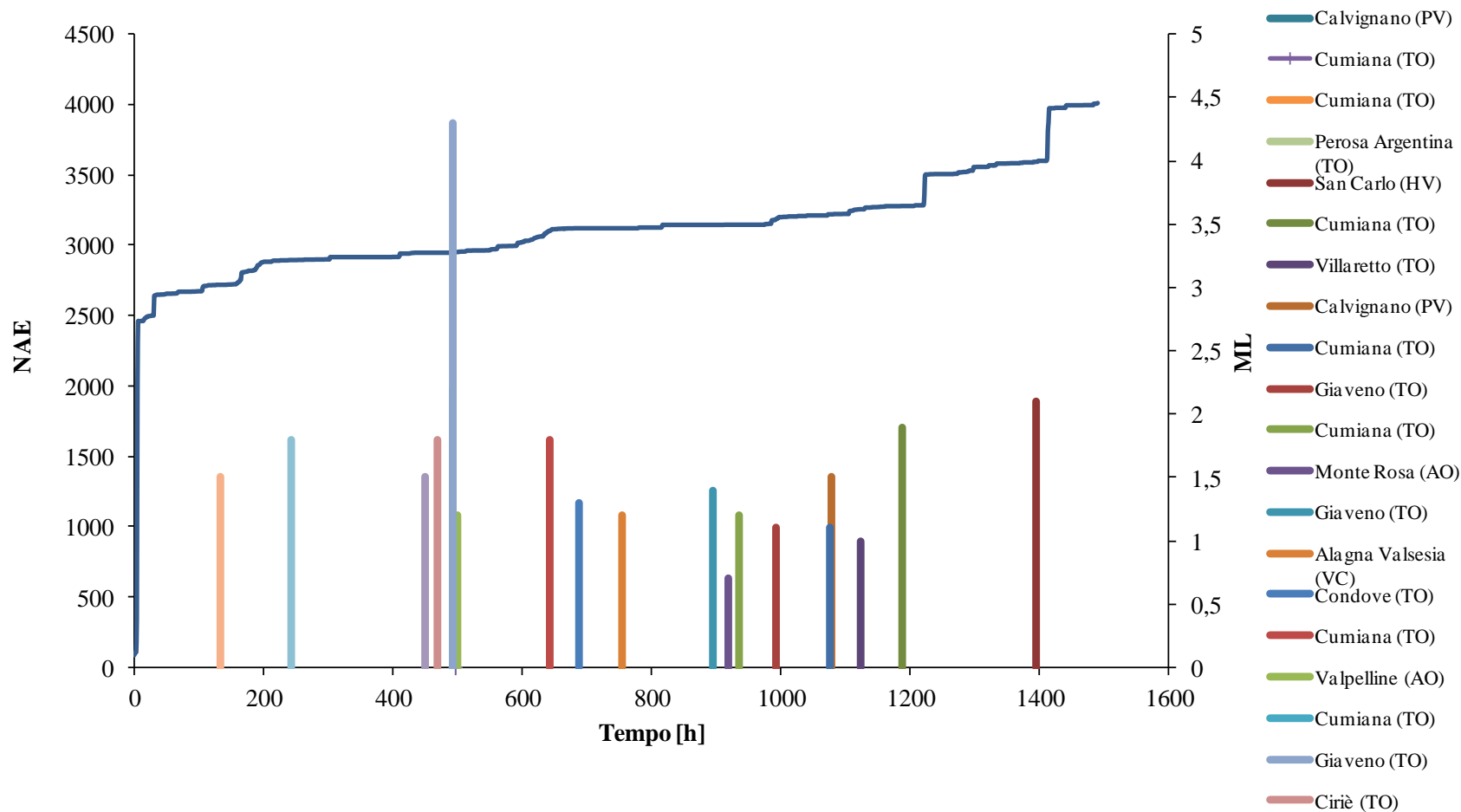
Tab. probabilità cumulata C- AE come aftershock

	60 km	80 km	100 km
1 settimana	0.0254	0.0732	0.1437
2 settimane	0.0357	0.1196	0.2629
3 settimane	0.0371	0.1509	0.3362
4 settimane	0.0371	0.1652	0.3732
5 settimane	0.0371	0.1665	0.3768

$$C_{\pm}(r, \tau) \equiv \frac{1}{N_{EQ} N_{AE}} \sum_{k=1}^{N_{EQ}} \sum_{j=1}^{N_{AE}} \Theta(r - |x_k - x_j|) \Theta(\tau - |t_k - t_j|) \Theta(\pm(t_k - t_j))$$

L'algoritmo di correlazione di Grassberger-Procaccia viene applicato ai dati ottenendo un comportamento da precursore delle AE. E' evidente che la struttura si comporta come ricevitore sismico.

Eventi sismici ed emissioni acustiche monitoraggio 5 luglio - 5 settembre 2011



Algoritmo di Grassberger – Procaccia

monitoraggio 5 luglio 2011 - 5 settembre 2011

Tab. probabilità cumulata C+ AE come precursore

	60 km	80 km	100 km
1 settimana	0.0075	0.0278	0.0846
2 settimane	0.0184	0.0552	0.1896
3 settimane	0.0239	0.0833	0.3222
4 settimane	0.0346	0.1040	0.3841
5 settimane	0.0498	0.1210	0.4435
6 settimane	0.0557	0.1268	0.5130
7 settimane	0.0557	0.1268	0.5497
8 settimane	0.0557	0.1268	0.5607
9 settimane	0.0557	0.1268	0.5657

Tab. probabilità cumulata C- AE come aftershock

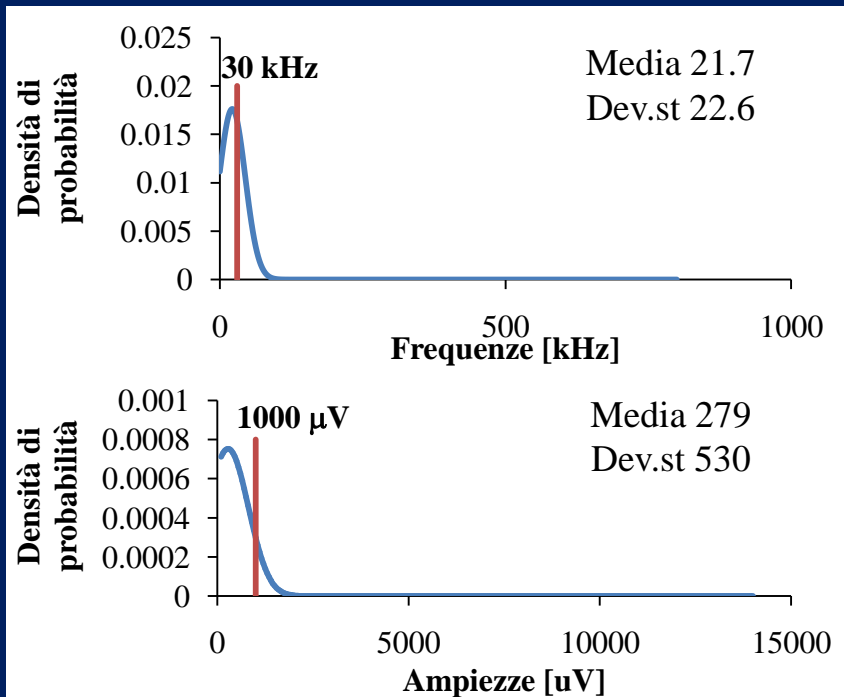
	60 km	80 km	100 km
1 settimana	0.0045	0.0298	0.1192
2 settimane	0.0132	0.0465	0.1916
3 settimane	0.0234	0.0717	0.2592
4 settimane	0.0301	0.0970	0.3251
5 settimane	0.0313	0.1114	0.3737
6 settimane	0.0313	0.1246	0.4164
7 settimane	0.0313	0.1299	0.4283
8 settimane	0.0313	0.1336	0.4333
9 settimane	0.0313	0.1341	0.4338

L'integrale di correlazione di Grassberger-Procaccia viene applicato ai dati ottenendo un comportamento da precursore delle AE solo per un raggio di indagine di 60 km. Si osserva un'inversione di comportamento della correlazione per raggi maggiori.

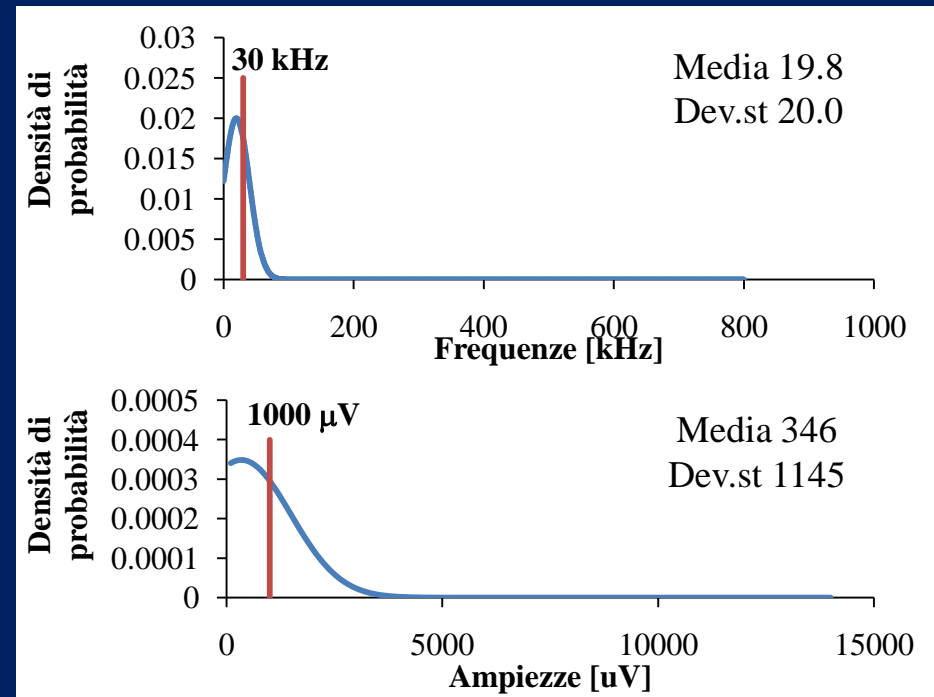
Discriminazione dei segnali AE

Escludendo i segnali che hanno permesso la localizzazione della sorgente AE, si è analizzata la sequenza di registrazioni introducendo come input di calcolo nell'algoritmo di Grassberger-Procaccia quei segnali distinti da determinate soglie di frequenza ed ampiezza ricavate da considerazioni statistiche.

Dati 5 luglio 2011 – 5 settembre 2011



Dati 9 maggio 2011 – 16 giugno 2011



AE con frequenze ed ampiezze discriminate

monitoraggio 5 luglio - 5 settembre 2011

Tab. probabilità cumulata C+ AE come precursore

	60 km	80 km	100 km
1 settimana	0.0080	0.0290	0.0829
2 settimane	0.0197	0.0592	0.1969
3 settimane	0.0252	0.0866	0.3288
4 settimane	0.0364	0.1081	0.3920
5 settimane	0.0517	0.1248	0.4538
6 settimane	0.0577	0.1308	0.5267
7 settimane	0.0577	0.1308	0.5625
8 settimane	0.0577	0.1308	0.5731
9 settimane	0.0577	0.1308	0.5776

Tab. probabilità cumulata C- AE come aftershock

	60 km	80 km	100 km
1 settimana	0.0042	0.0294	0.1149
2 settimane	0.0117	0.0464	0.1889
3 settimane	0.0203	0.0681	0.2521
4 settimane	0.0278	0.0935	0.3142
5 settimane	0.0292	0.1074	0.3604
6 settimane	0.0292	0.1202	0.4041
7 settimane	0.0292	0.1253	0.4151
8 settimane	0.0292	0.1292	0.4213
9 settimane	0.0292	0.1297	0.4218

Applicando l'integrale di correlazione al segnale con frequenze inferiori ai 30 kHz ed ampiezze inferiori a 1 mV, si osserva che le emissioni acustiche tornano ad essere un precursore sismico. Le altre combinazioni mostrano un comportamento tipicamente da aftershock.

Prove statiche di aderenza tra intonaco e muratura

(Sperimentazione e analisi numerica)

PARTE PRIMA

A. Alberto, P. Antonaci, P. Bocca, V. Di Vasto,

A. Grazzini, S. Valente,

Riunione di coordinamento del progetto Re-Frescos

29 Novembre 2012, Politecnico di Torino

Dipartimento di Ingegneria Strutturale Edile e Geotecnica, Politecnico di Torino



Riserva Naturale Speciale
del Sacro Monte di Varallo

RE-FRESCOS project
www.refrescos.polito.it



Introduction

This experimental study is being carried out at the **Sacri Monti di Varallo UNESCO heritage site**. Situated at the top of the hill above the town of Varallo in Piedmont (Italy), Sacro Monte is an artistic-religious complex consisting of 45 chapels, which contain with frescoes and sculptures that tell the story of the life of Christ.



Riserva Naturale Speciale
del Sacro Monte di Varallo

RE-FRESCOS project
www.refrescos.polito.it



Introduction

The historical plaster of the chapels has been subjected to **progressive material decay** over a long period of time.



Decay and delamination of plasters



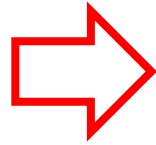
Riserva Naturale Speciale
del Sacro Monte di Varallo

RE-FRESCOS project
www.refrescos.polito.it



Introduction

Some recent restoration work on decayed plasters have already shown their **poor durability**



the incompatibility of the employed repair mortars



Decay and delamination of repair plasters



Preliminary pre-qualification of repair materials before their use



Maximum durability of the restoration work

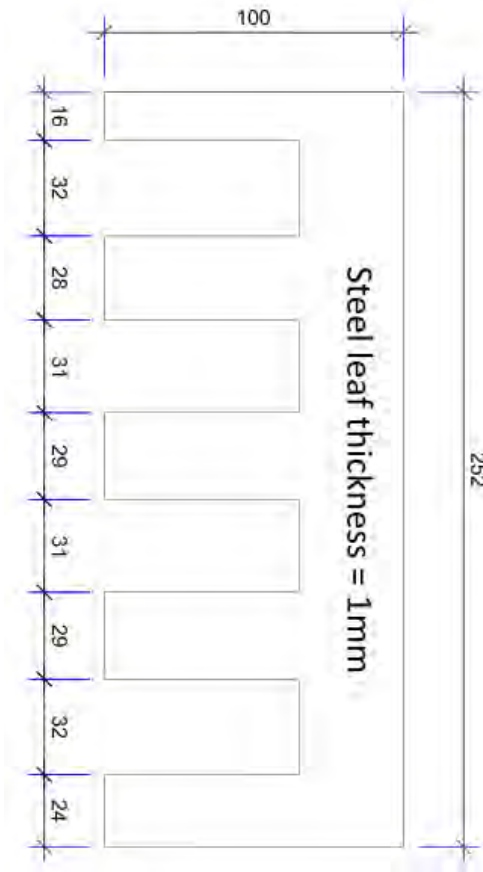
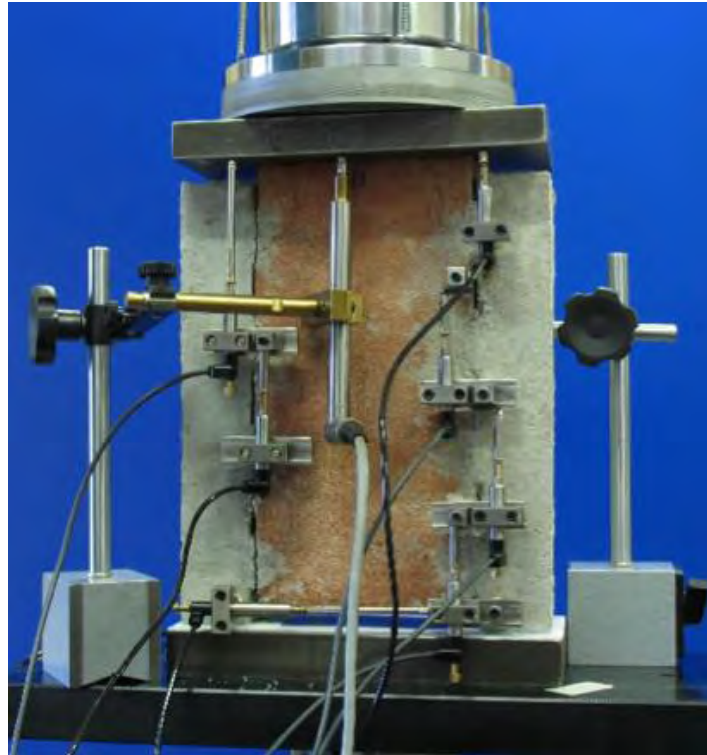
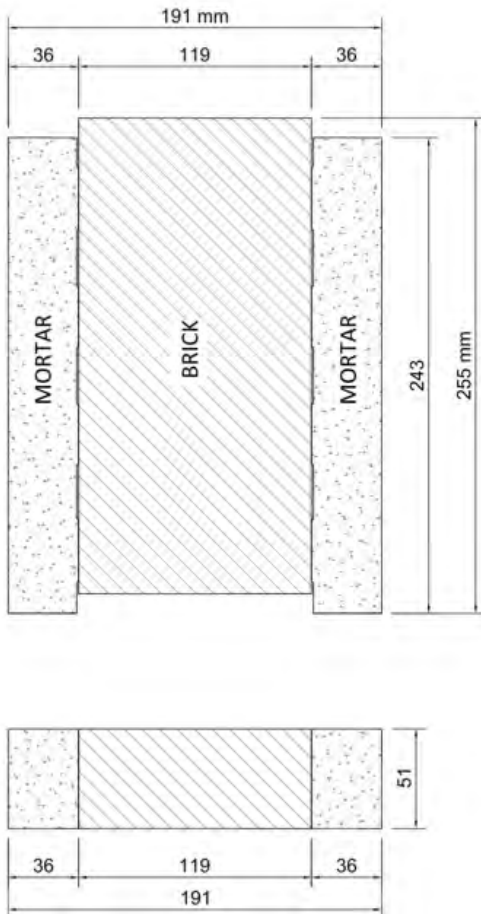


Riserva Naturale Speciale
del Sacro Monte di Varallo

RE-FRESCOS project
www.refrescos.polito.it



Experimental research until 06/07/2011 (mortar – brick)



Riserva Naturale Speciale
del Sacro Monte di Varallo

RE-FRESCOS project
www.refrescos.polito.it



Experimental research since 07/07/2011 (mortar – stone)

The research group of the **Laboratory of non Destructive Testing Materials at the Politecnico di Torino** has carried out particular **fatigue tests** on ad hoc mixed **stone block-mortar specimens** in order to evaluate **simulate the adherence capacity** of the new repair mortars to the masonry supports.

The restoration market offers a great number of dehumidified repair mortars, however **the mechanical characteristics have not been compared carefully with those of historical masonry supports.**

These **static tests** represent **the first step** of this experimental study **which is currently in progress.**

The next steps will concern the same type of mixed specimens subjected to cyclic tests.

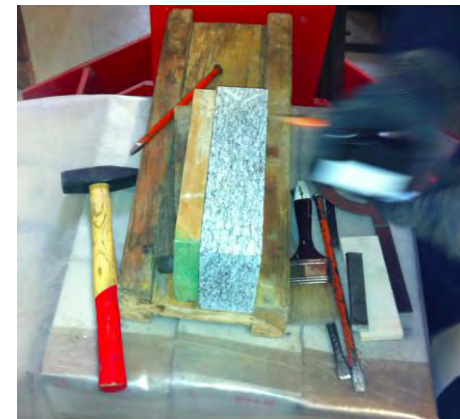
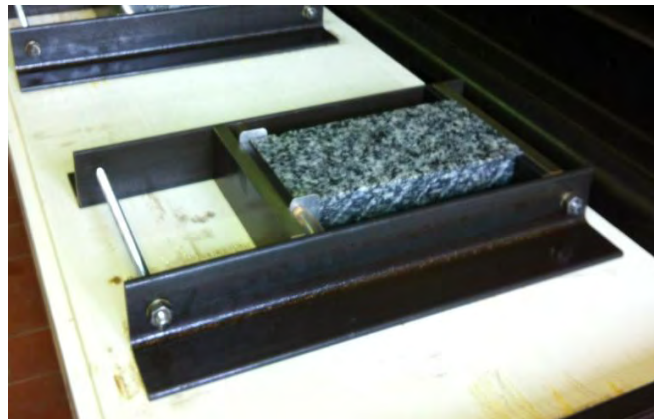
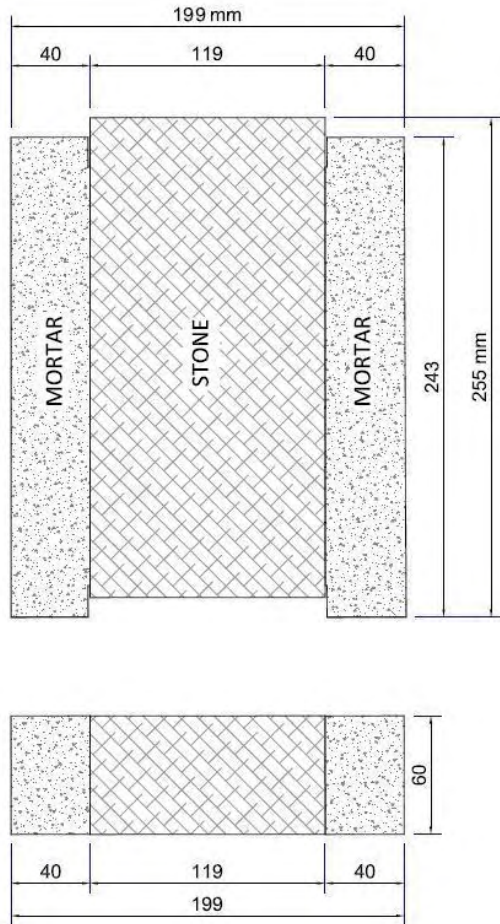


Riserva Naturale Speciale
del Sacro Monte di Varallo

RE-FRESCOS project
www.refrescos.polito.it



Experimental research since 07/07/2011 (mortar – stone)



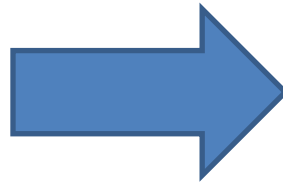
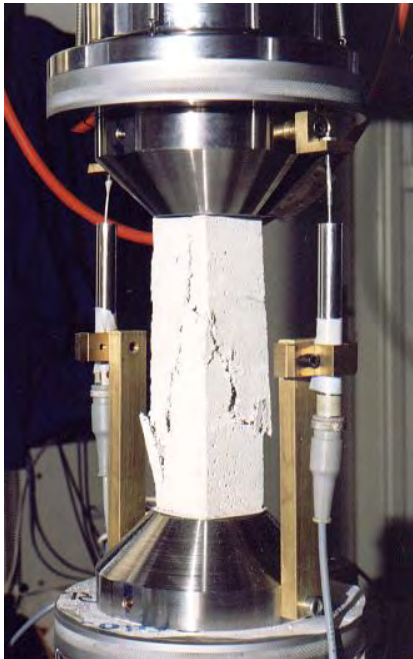
Riserva Naturale Speciale
del Sacro Monte di Varallo

RE-FRESCOS project
www.refrescos.polito.it



The pre-blended mortar, chosen from among the main ones on the market, is a transpirant base made from natural hydraulic lime and Eco-Pozzolan, which is suitable for the restoration of historical masonry damaged by rising capillary damp and sulphate salts.

Young's modulus of this repair mortar, evaluated according to UNI6556, was **4380 MPa**. The **compressive strength**, evaluated according to UNI6556, was **33,8 Mpa**.



Monotonous compression tests were carried out by the controlling the horizontal opening with a speed opening at 0,0001 mm /s.

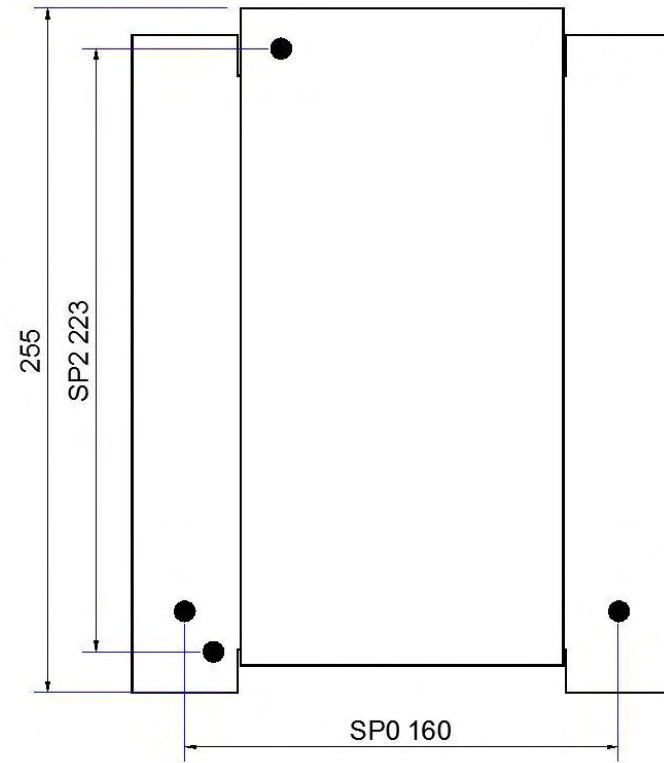


Riserva Naturale Speciale
del Sacro Monte di Varallo

RE-FRESCOS project
www.refrescos.polito.it



Experimental setup

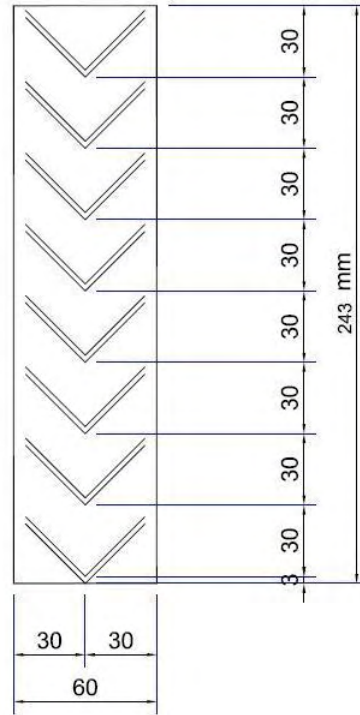
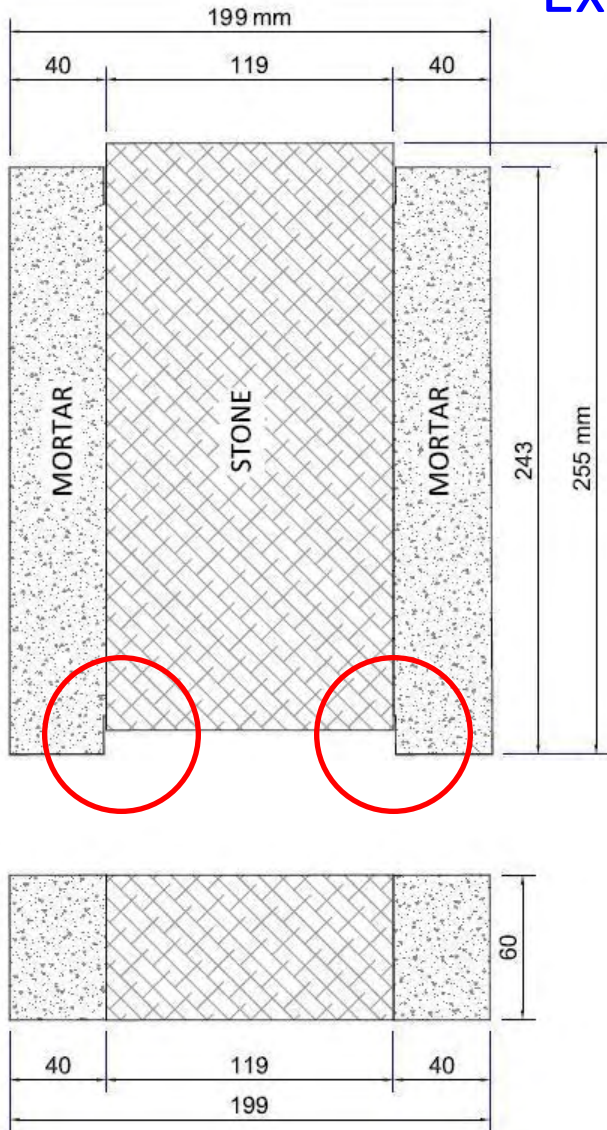


Riserva Naturale Speciale
del Sacro Monte di Varallo

RE-FRESCOS project
www.refrescos.polito.it



Experimental setup



They were instead applied in symmetrical and regular discontinuity at the bottom and top of the specimen. These discontinuities behave like notches that which are able to trigger multiple crack propagation.

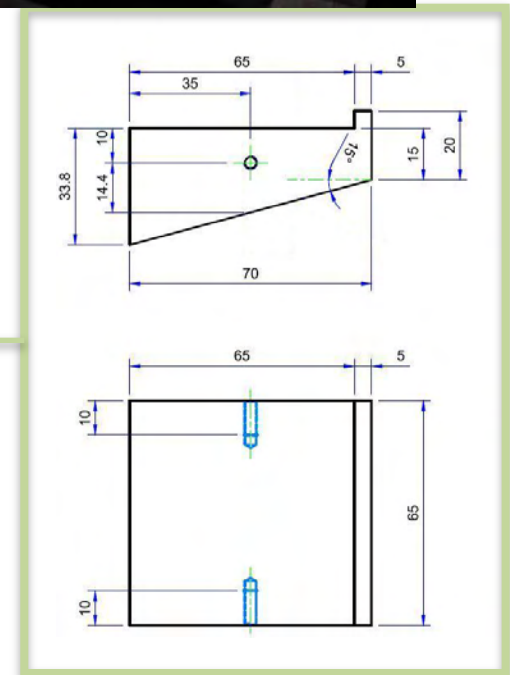
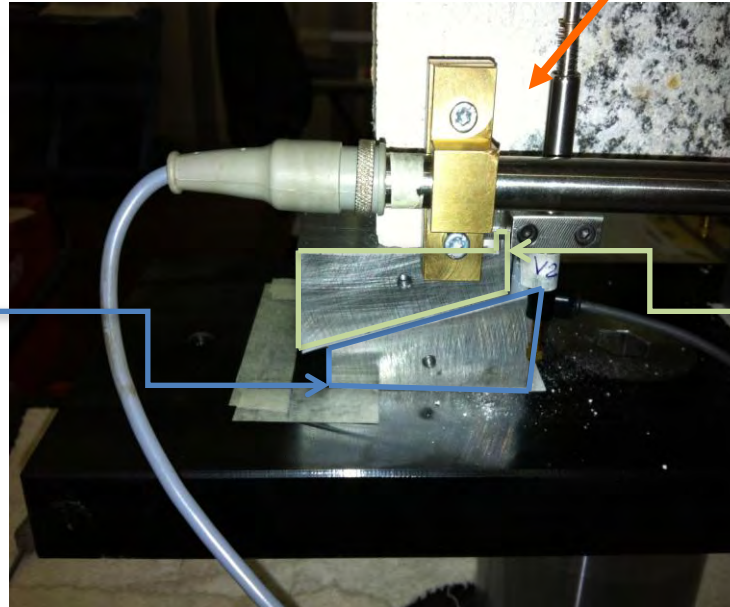
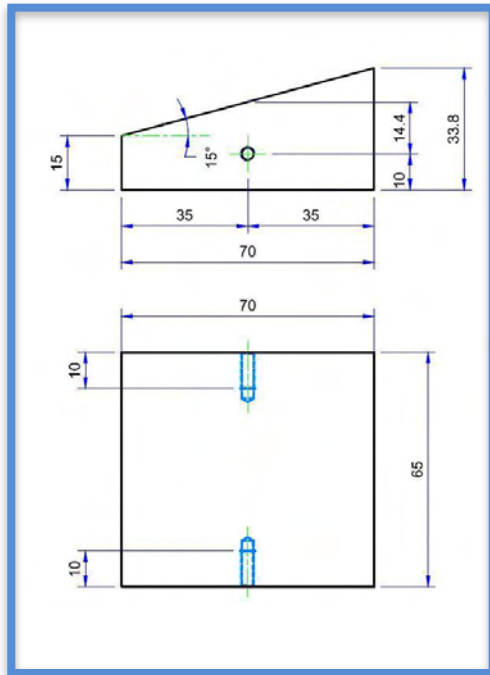


Riserva Naturale Speciale
del Sacro Monte di Varallo

RE-FRESCOS project
www.refrescos.polito.it



Experimental setup



Riserva Naturale Speciale
del Sacro Monte di Varallo

RE-FRESCOS project
www.refrescos.polito.it



Experimental results

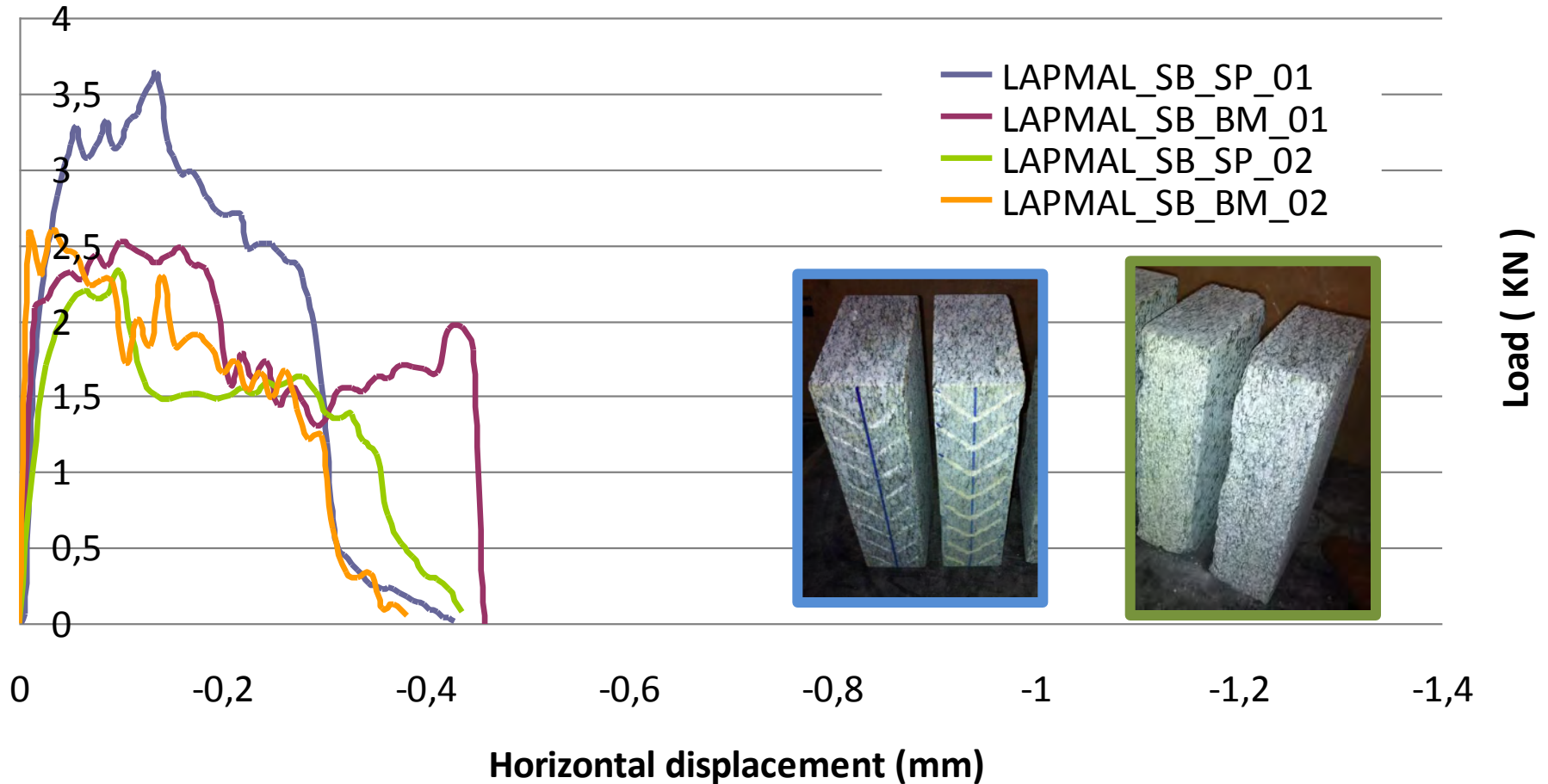


PROVINO	Max load (N)	Max horizontal displacement (mm)
LAPMAL_SB_BM_01(NoTeflon)	3660	0,4825
LAPMAL_SB_BM_02(Teflon)	2610	0,5416
LAPMAL_SB_SP_01(NoTeflon)	2320	0,4353
LAPMAL_SB_SP_02(Teflon)	2810	0,3817
LAPMAL_SB_BP_01 (Teflon)	2530	0,6077
LAPMAL_SB_BP_02 (Teflon)	1910	1,3218
LAPMAL_SB_BP_03 (Teflon)	2100	0,7695
LAPMAL_SB_BP_04 (Teflon)	1970	0,3629



Experimental results

Load - Horizontal displacement



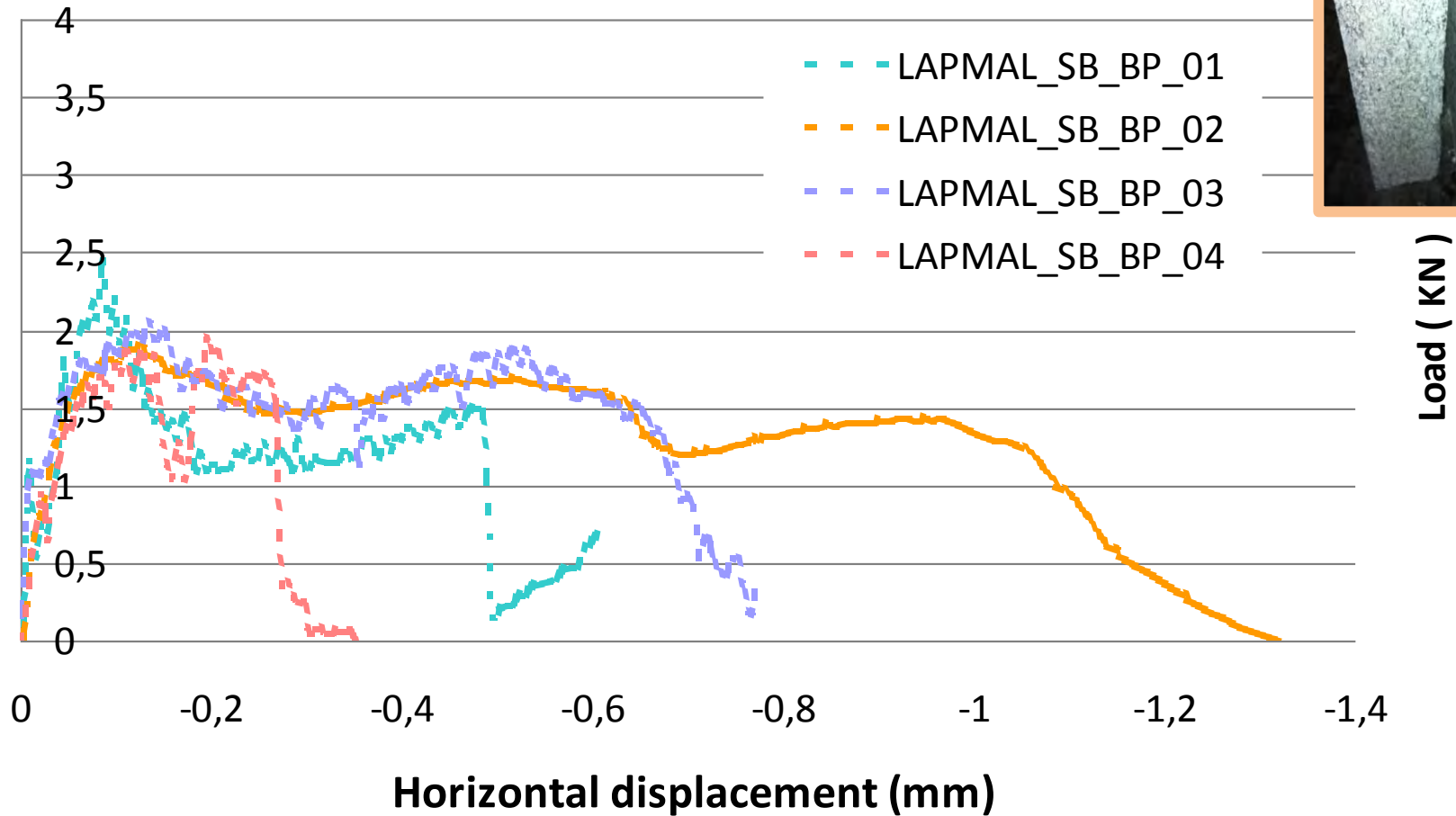
Riserva Naturale Speciale
del Sacro Monte di Varallo

RE-FRESCOS project
www.refrescos.polito.it



Experimental results

Load - Horizontal displacement



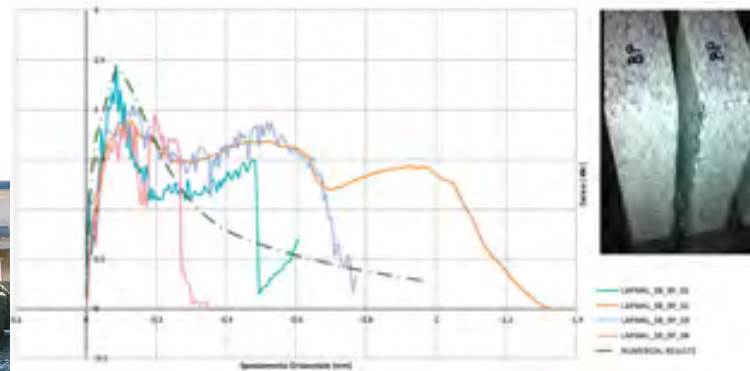
Riserva Naturale Speciale
del Sacro Monte di Varallo

RE-FRESCOS project
www.refrescos.polito.it



Conclusions

- Long-term plaster delamination frequently occurs as a consequence of the non compatible mechanical characteristics of mortar. Preventing this phenomenon is the main way of increasing the durability of repair work.



- An innovative preliminary design stage laboratory procedure for the pre-qualification of repair mortars applied to historical masonry buildings has been described.
- The evolutionary phenomena involved in the de-bonding process of mortar in a coupled stone block - mortar system have been accurately analyzed by means of the proposed experimental setup.



Riserva Naturale Speciale
del Sacro Monte di Varallo

RE-FRESCOS project
www.refrescos.polito.it



Prove statiche di aderenza tra intonaco e muratura

(Sperimentazione e analisi numerica)

PARTE SECONDA

A. Alberto, P. Antonaci, P. Bocca, V. Di Vasto,
A. Grazzini, S. Valente,

Riunione di coordinamento del progetto Re-Frescos

29 Novembre 2012, Politecnico di Torino

Dipartimento di Ingegneria Strutturale Edile e Geotecnica, Politecnico di Torino



Riserva Naturale Speciale
del Sacro Monte di Varallo

RE-FRESCOS project
www.refrescos.polito.it



Indice:

- Introduzione;
- Sperimentazione rendicontata al 06/07/2011;
- Sperimentazione successiva al 06/07/2011;
- Posizione della strumentazione;
- Instabilità della prova sperimentale;
- Il criterio di inizio della frattura;
- Il modello della fessura coesiva;
- Il criterio dell'evoluzione della fessura;
- Dati di ingresso;
- Risultati numerici;
- Risultati sperimentali;
- Confronto;
- Conclusioni.



Riserva Naturale Speciale
del Sacro Monte di Varallo

RE-FRESCOS project
www.refrescos.polito.it



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 termigrometrico 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.

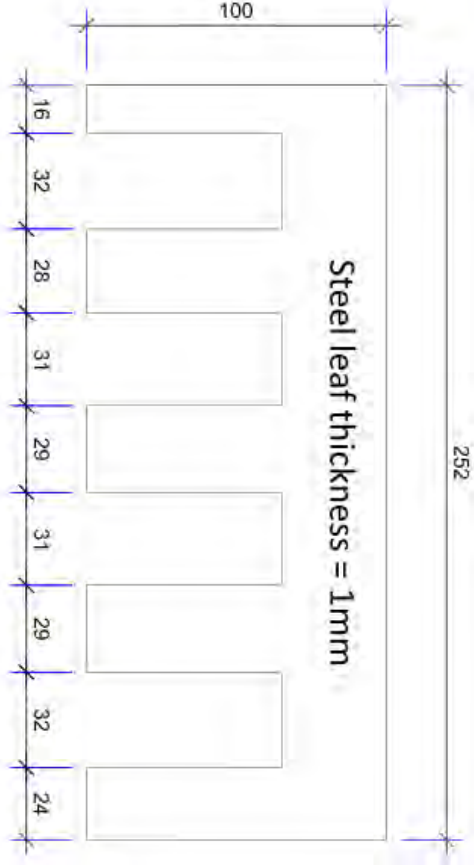
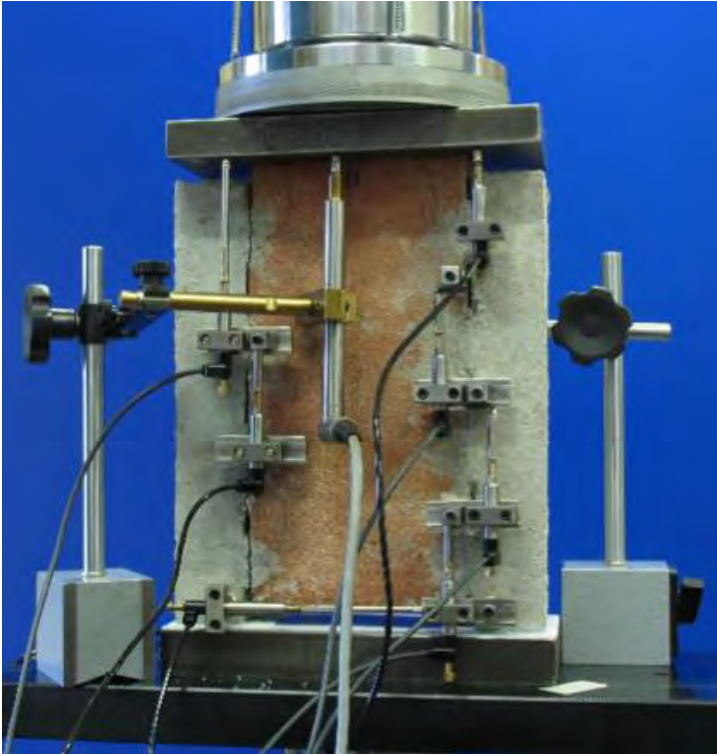
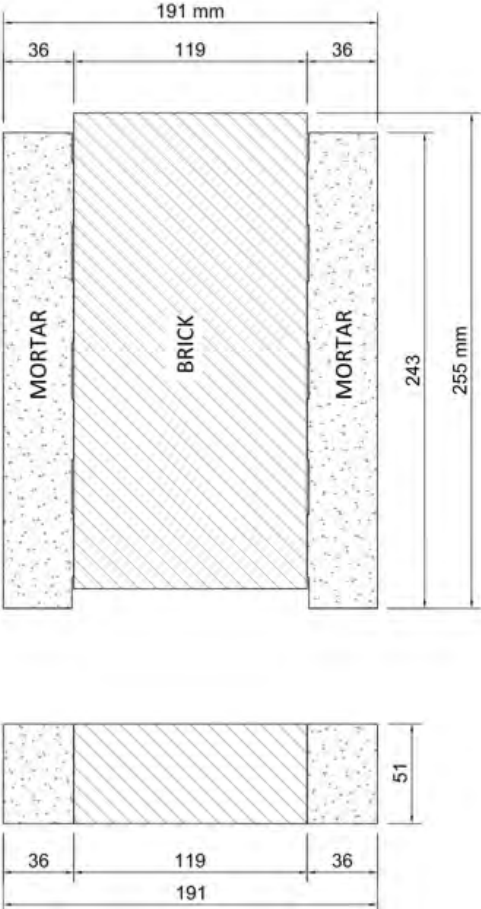


Riserva Naturale Speciale
del Sacro Monte di Varallo

RE-FRESCOS project
www.refrescos.polito.it



Sperimentazione rendicontata al 06/07/2011 (malta – laterizio)



Riserva Naturale Speciale
del Sacro Monte di Varallo

RE-FRESCOS project
www.refrescos.polito.it



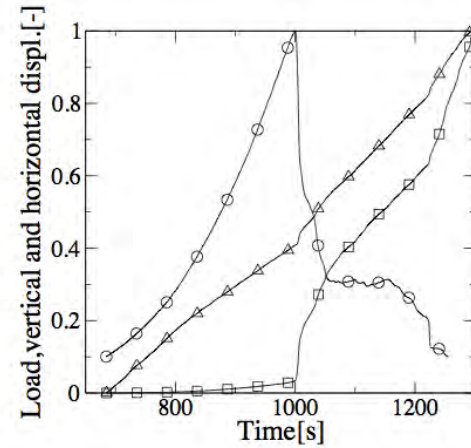
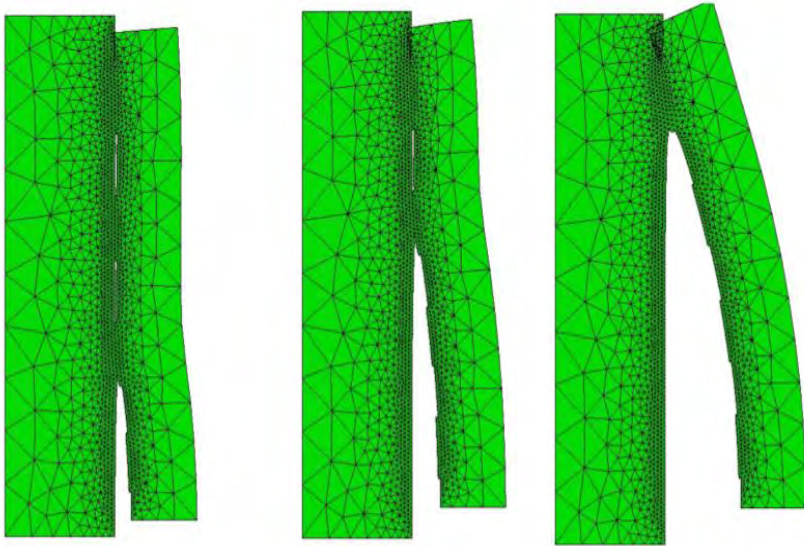


Figure: Risultati sperimentali adimensionali per il provino 1 (cerchio)carico, (quadrato)post.oriz., (triangolo)post.vert.

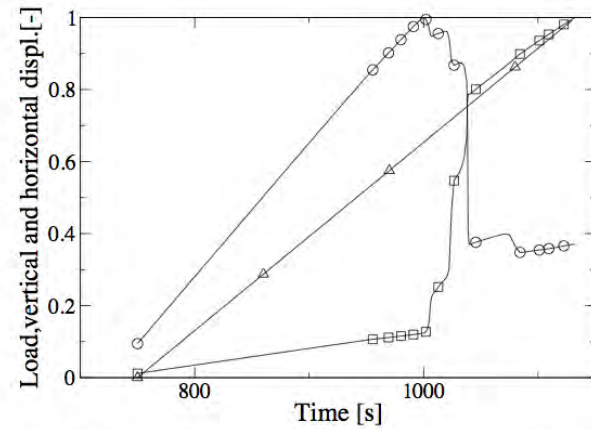
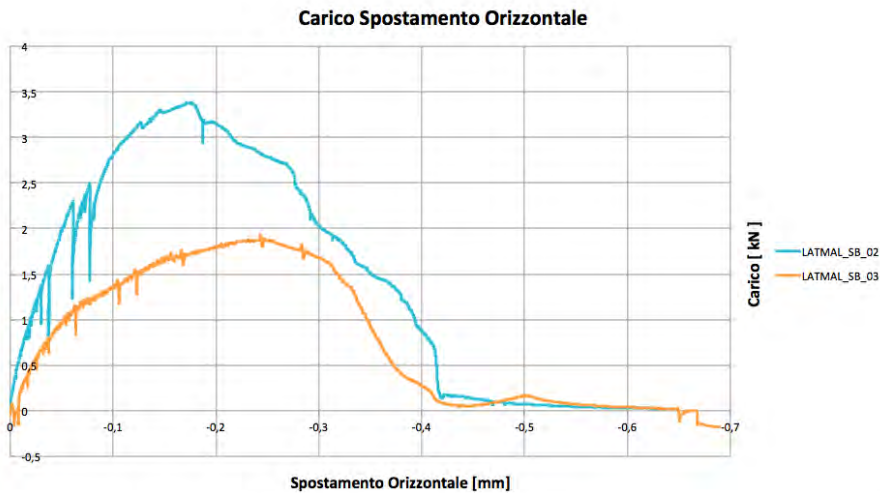
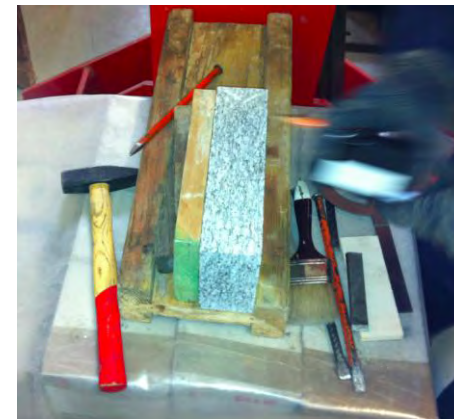
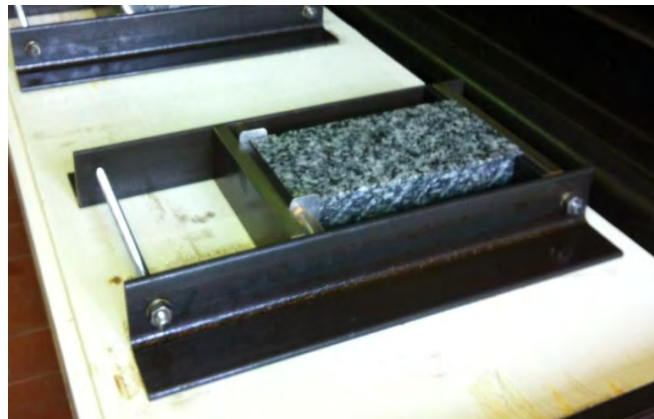
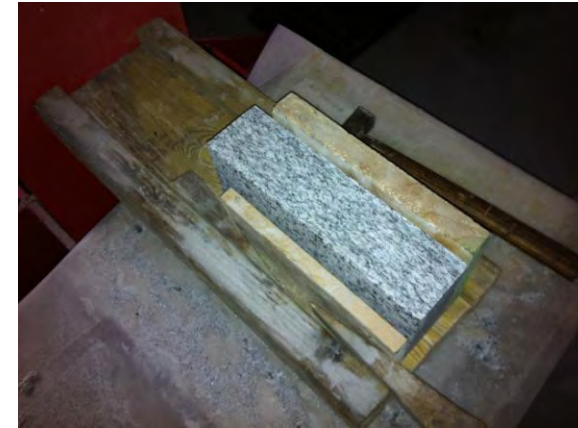
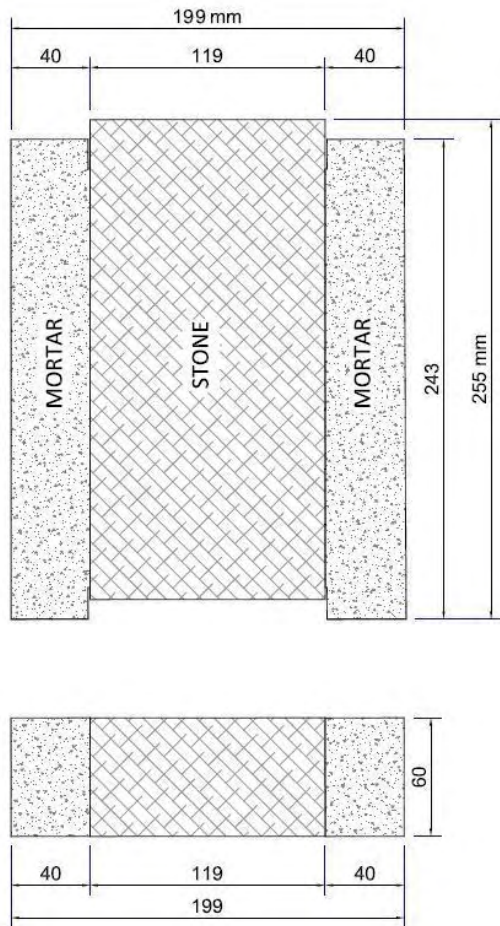


Figure: Risultati numerici adimensionali (cerchio)carico, (quadrato)post.oriz., (triangolo)post.vert.



Sperimentazione successiva al 06/07/2011

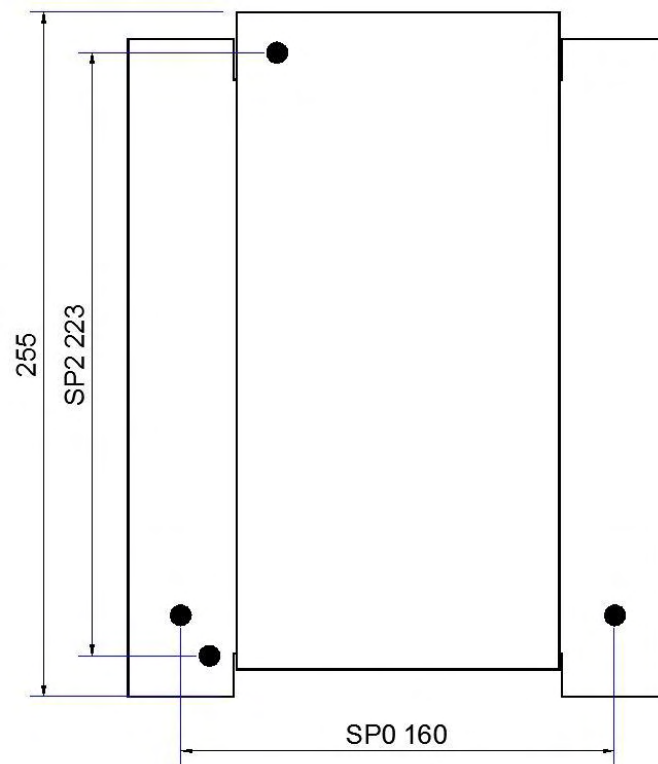


Riserva Naturale Speciale
del Sacro Monte di Varallo

RE-FRESCOS project
www.refrescos.polito.it



Posizione della strumentazione



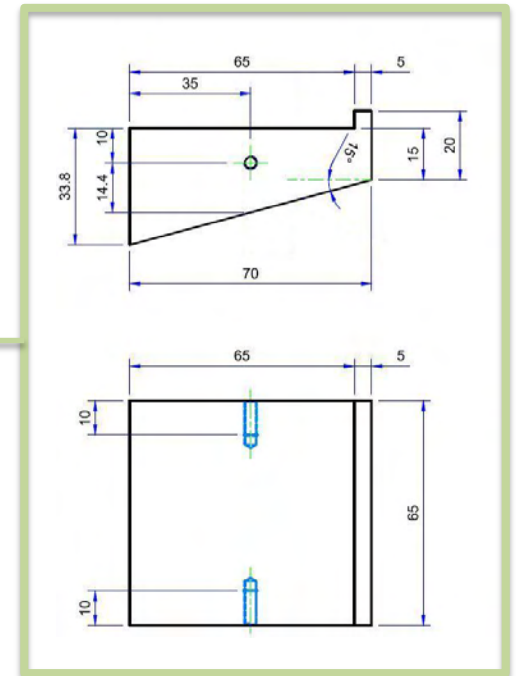
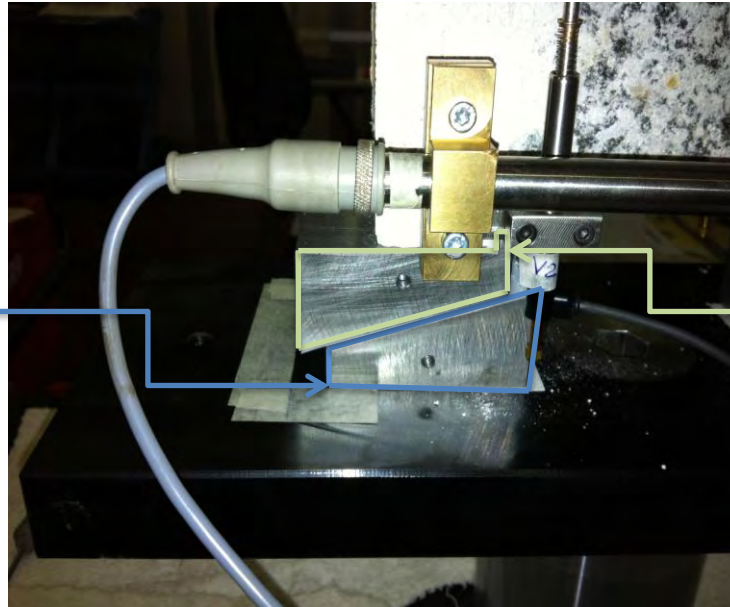
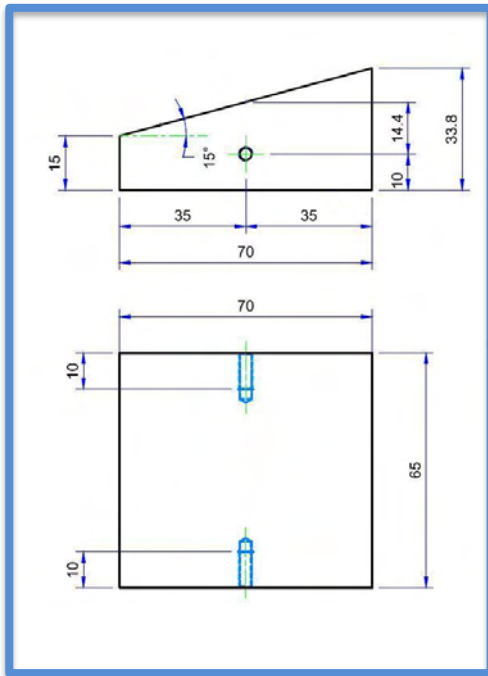
Riserva Naturale Speciale
del Sacro Monte di Varallo

RE-FRESCOS project
www.refrescos.polito.it



Instabilità della prova sperimentale

L'inserimento dei cunei e del teflon ha migliorato la stabilità della prova sperimentale.



Riserva Naturale Speciale
del Sacro Monte di Varallo

RE-FRESCOS project
www.refrescos.polito.it



Il criterio di inizio della frattura

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

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

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.



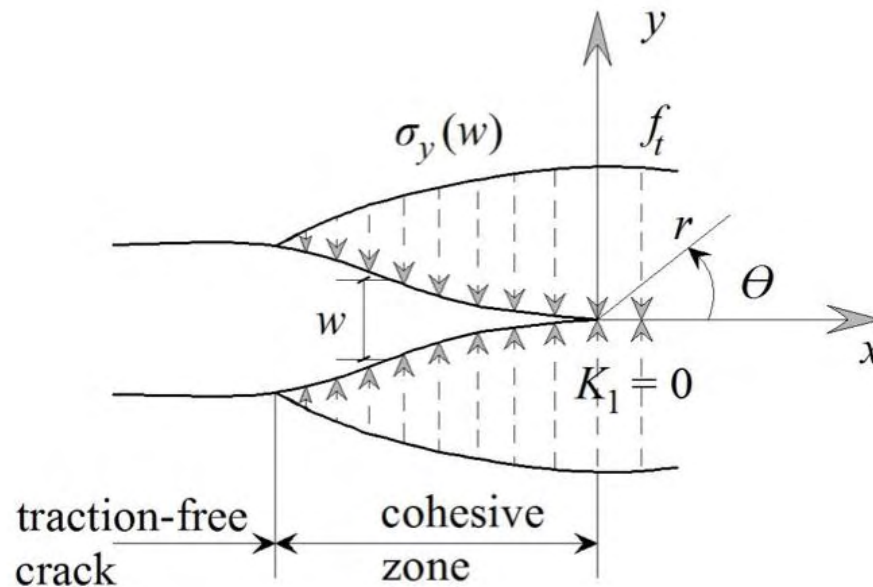
Riserva Naturale Speciale
del Sacro Monte di Varallo

RE-FRESCOS project
www.refrescos.polito.it



Il modello della fessura 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



Riserva Naturale Speciale
del Sacro Monte di Varallo

RE-FRESCOS project
www.refrescos.polito.it



Il criterio di evoluzione della fessura

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

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

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 0.5 mm.



Riserva Naturale Speciale
del Sacro Monte di Varallo

RE-FRESCOS project
www.refrescos.polito.it



Il criterio di evoluzione della fessura

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \frac{\tau}{\tau_0} = \left[1 - \frac{1 - \exp(-\alpha \cdot w_{eff})}{1 - \exp(-\alpha)} \right]$$

	f_t (N/mm ²)	f_s (N/mm ²)	w_{nc} (mm)	w_{tc} (mm)
Lato destro	0,2097	0,3159	0,5	0,5
Lato sinistro	0,2178	0,3249	0,5	0,5



Dati di ingresso nella simulazione numerica

Le analisi numeriche sono state eseguite utilizzando il codice ABAQUS applicando una predefinita velocità verso il basso sulla faccia superiore del provino in pietra.

	Modulo di Young (N/mm ²)	Rapporto di Poisson
Malta	3942	0,15
Pietra	21600	0,20

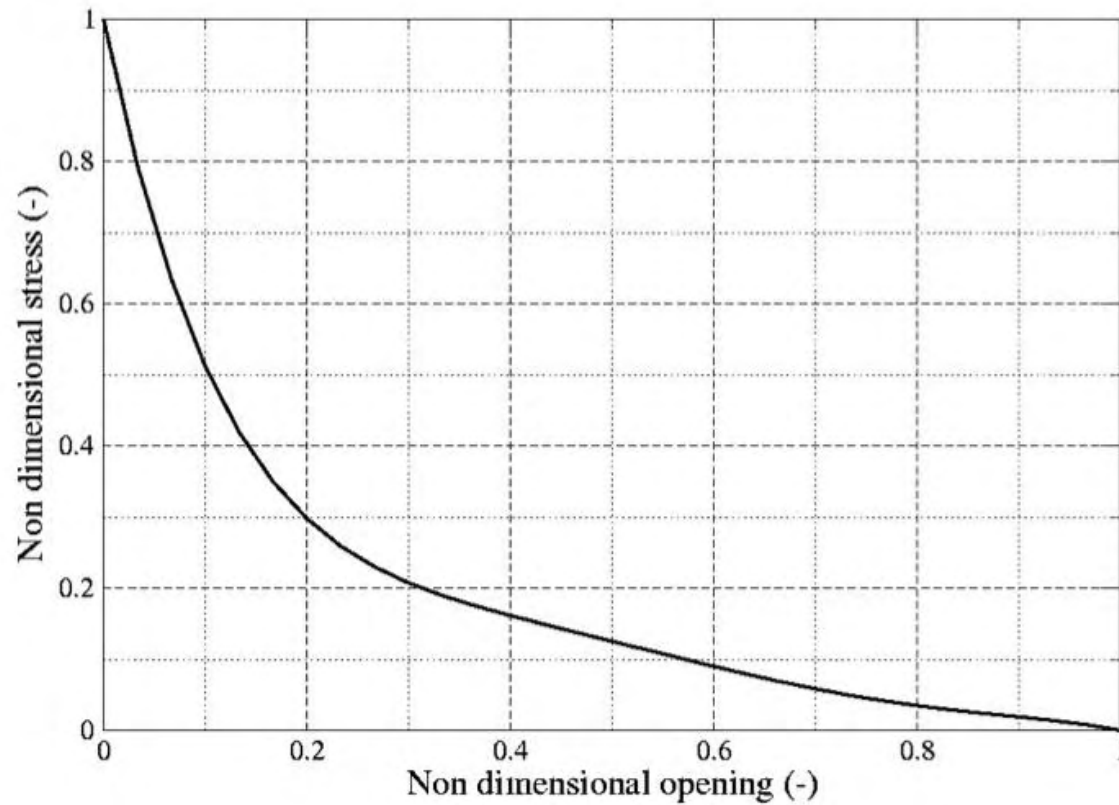


Riserva Naturale Speciale
del Sacro Monte di Varallo

RE-FRESCOS project
www.refrescos.polito.it



La legge coesiva

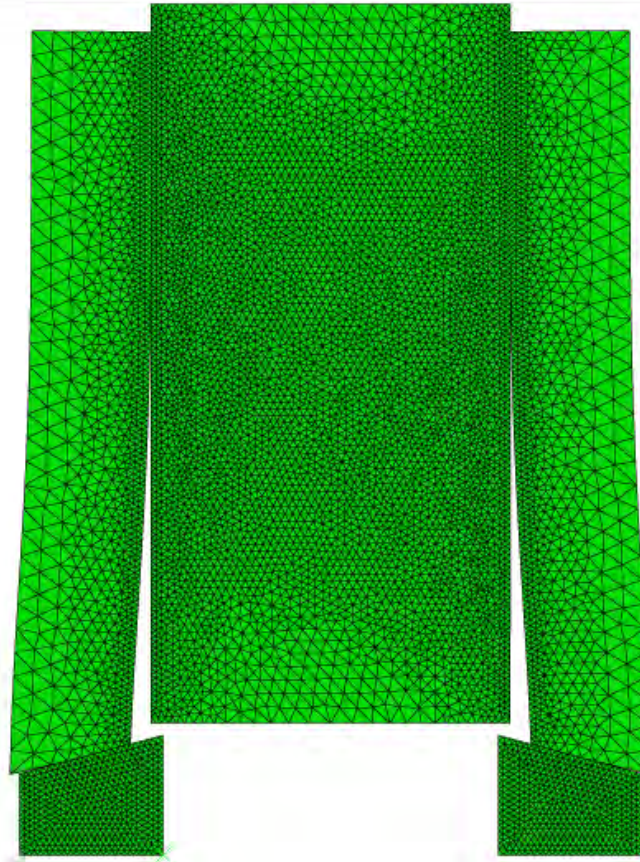


Riserva Naturale Speciale
del Sacro Monte di Varallo

RE-FRESCOS project
www.refrescos.polito.it



Risultati numerici



Riserva Naturale Speciale
del Sacro Monte di Varallo

RE-FRESCOS project
www.refrescos.polito.it

 **REGIONE
PIEMONTE**



Risultati sperimentali

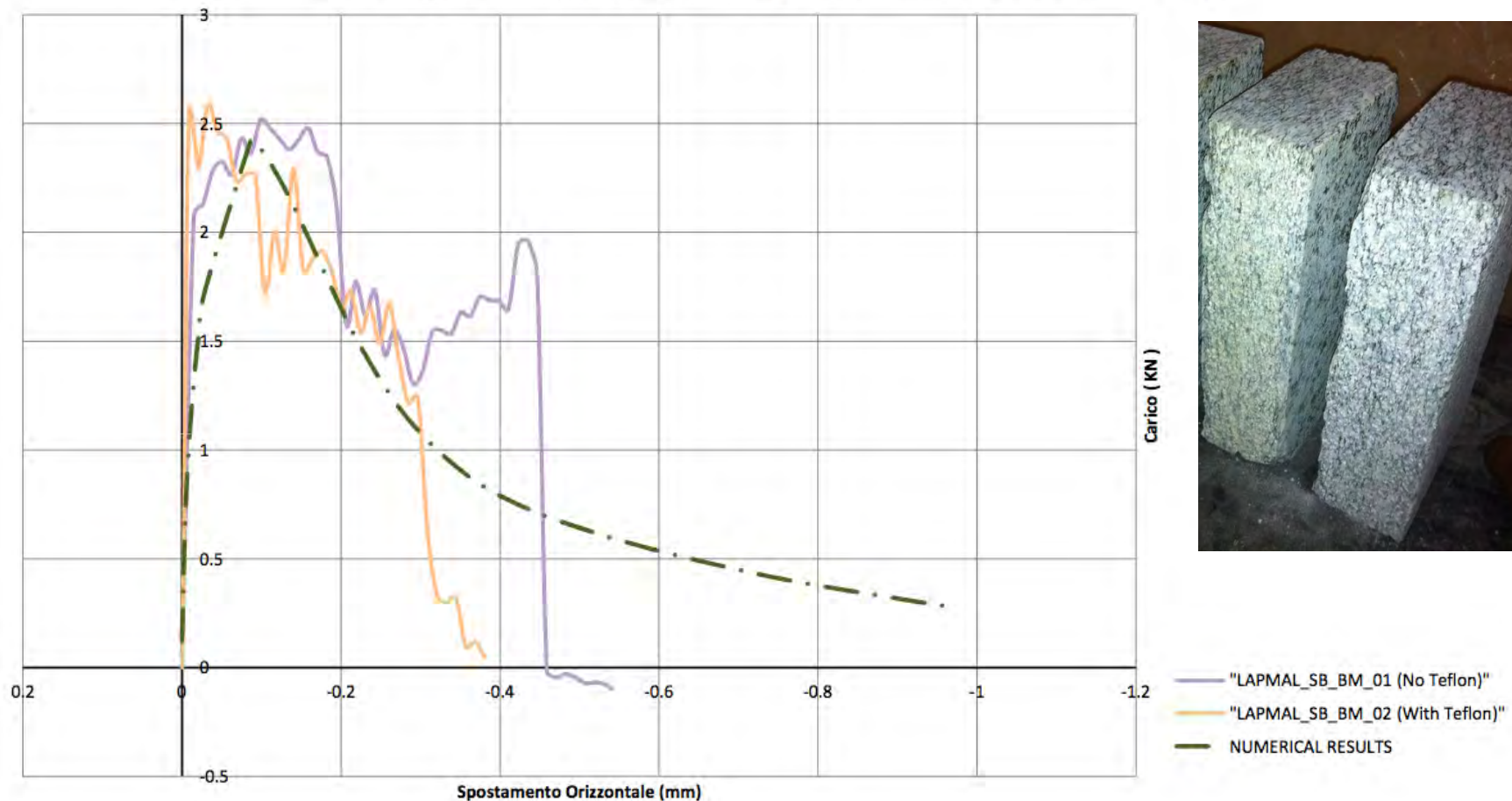


PROVINO	Max load (N)	Max horizontal displacement (mm)
LAPMAL_SB_BM_01(NoTeflon)	3660	0,4825
LAPMAL_SB_BM_02(Teflon)	2610	0,5416
LAPMAL_SB_SP_01(NoTeflon)	2320	0,4353
LAPMAL_SB_SP_02(Teflon)	2810	0,3817
LAPMAL_SB_BP_01 (Teflon)	2530	0,6077
LAPMAL_SB_BP_02 (Teflon)	1910	1,3218
LAPMAL_SB_BP_03 (Teflon)	2100	0,7695
LAPMAL_SB_BP_04 (Teflon)	1970	0,3629



Confronto risultati con interfaccia bocciardata a mano

Carico Spostamento Orizzontale (Interfaccia Bocciardata a mano)



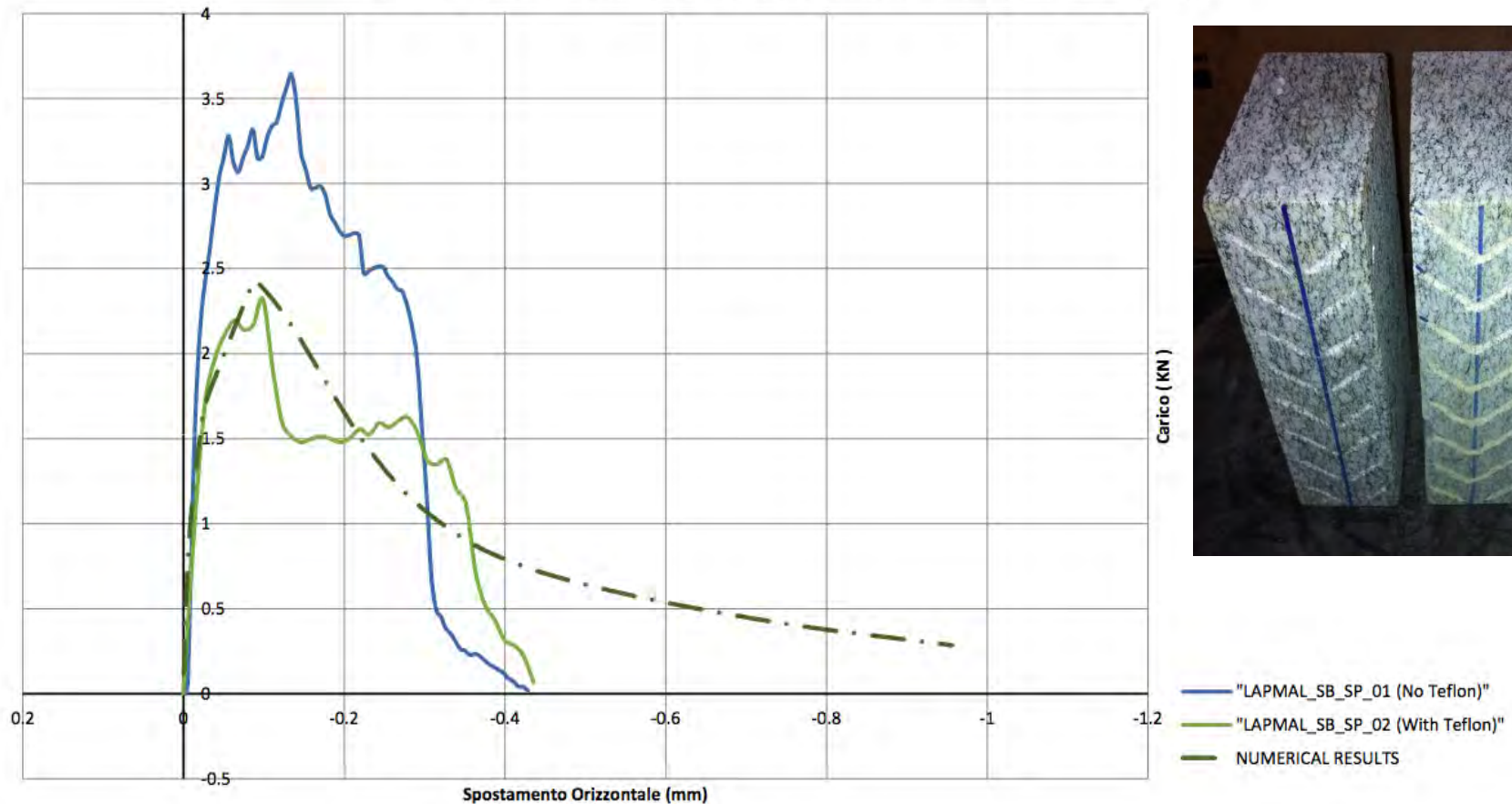
Riserva Naturale Speciale
del Sacro Monte di Varallo

RE-FRESCOS project
www.refrescos.polito.it



Confronto risultati interfaccia a spina di pesce

Carico Spostamento Orizzontale (Interfaccia Spina di Pesce)



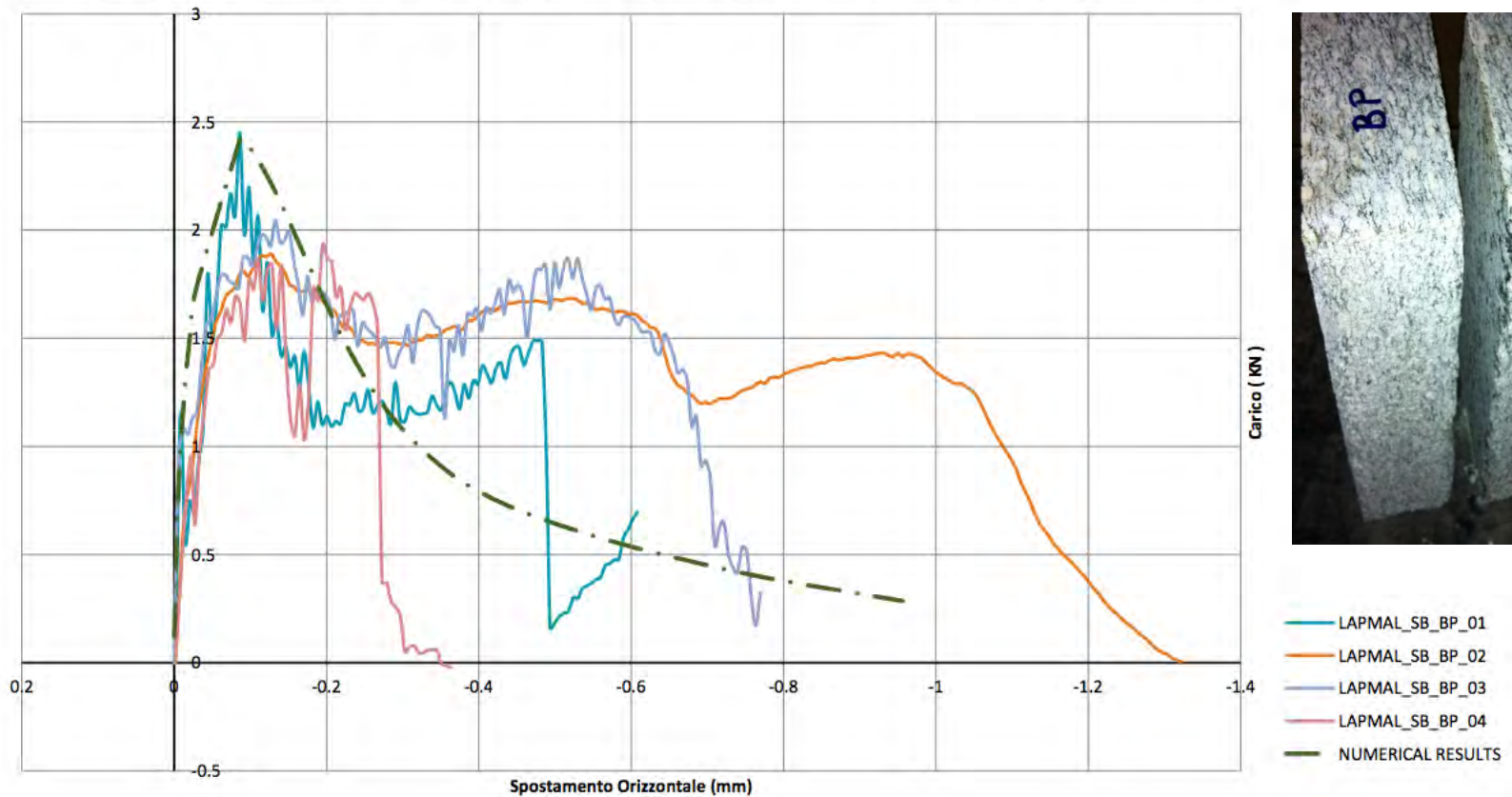
Riserva Naturale Speciale
del Sacro Monte di Varallo

RE-FRESCOS project
www.refrescos.polito.it



Confronto risultati con bocciardatura pneumatica

Carico Spostamento Orizzontale (Interfaccia Bocciardatura Pneumatica Cunei con Teflon)



Conclusioni

La modalita' sperimentale proposta e' in grado di controllare i fenomeni evolutivi responsabili del distacco dell'intonaco dalla muratura.

I risultati delle simulazioni numeriche sono in buon accordo con le rilevazioni sperimentali e quindi contribuiscono a chiarire il comportamento meccanico del provino.

Con questo protocollo di prova abbiamo confrontato diverse soluzioni di collegamento tra intonaco e muratura .



Riserva Naturale Speciale
del Sacro Monte di Varallo

RE-FRESCOS project
www.refrescos.polito.it



Grazie per l'Attenzione



Riserva Naturale Speciale
del Sacro Monte di Varallo

RE-FRESCOS project
www.refrescos.polito.it



DIAGNOSTIC APPLICATION OF NONLINEAR ULTRASONICS TO CHARACTERIZE DEGRADATION BY EXPANSIVE SALTS IN MASONRY SYSTEMS

P. Antonaci, P. Bocca, A. Formia

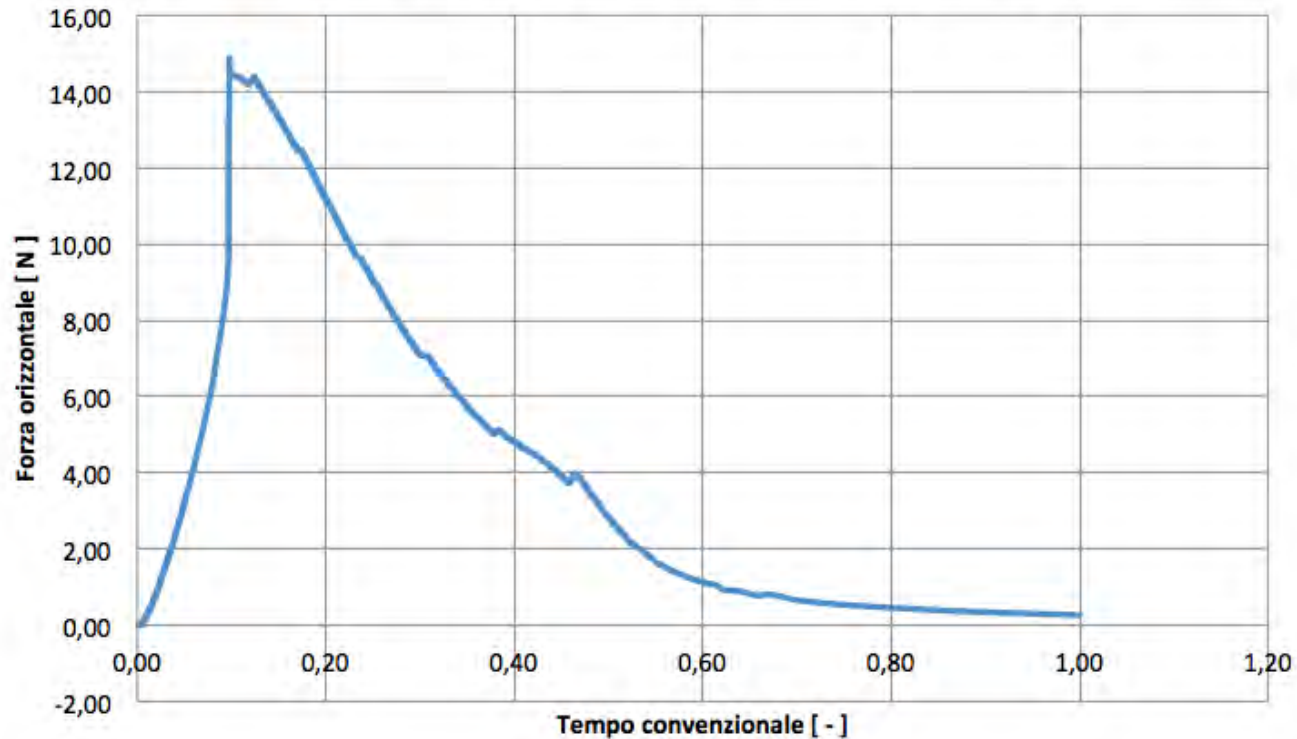
Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica

J.M. Tulliani

Dipartimento di Scienza Applicata e Tecnologia

Appendice (non simmetria della risposta)

Grafico rappresentativo della non simmetria di risposta

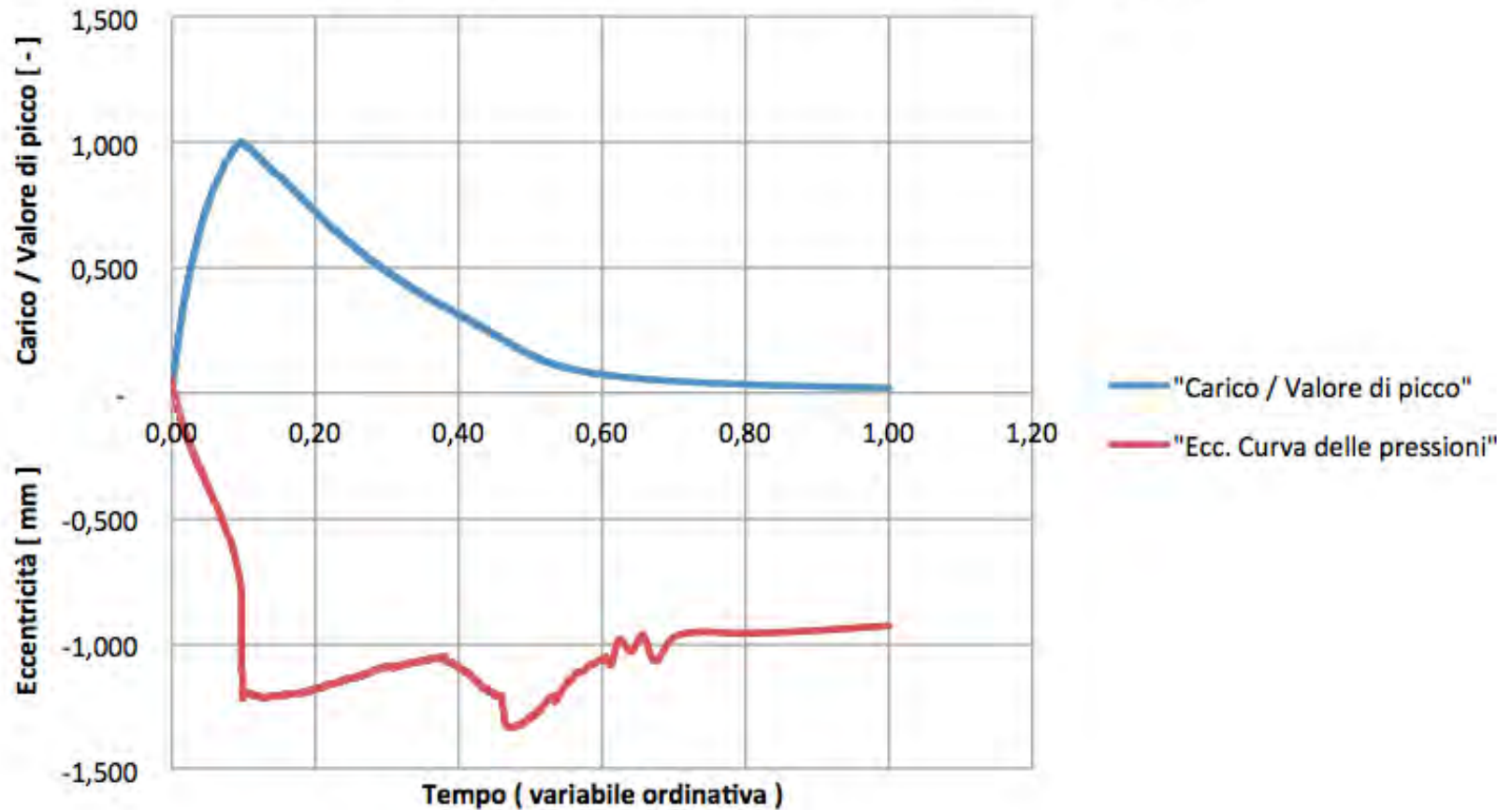


Riserva Naturale Speciale
del Sacro Monte di Varallo

RE-FRESCOS project
www.refrescos.polito.it



Grafici rappresentativi della non simmetria di risposta



Riserva Naturale Speciale
del Sacro Monte di Varallo

RE-FRESCOS project
www.refrescos.polito.it

REGIONE
PIEMONTE



Preservation, Safeguard and Valorisation of Masonry Decorations in the Architectural Historical Heritage of Piedmont



Dr. Paolo Tarizzo, p.tarizzo@inrim.it

Dr. Claudio Guglielmone

Dr. Alessandro Schiavi

WP4: Upgrading and recovery of mural painting assets in Piedmont: the problem of reliability and durability of the media





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 Guglielmono



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.



Applied Acoustics 63 (2002) 43–59

www.elsevier.com/locate/apacoust

applied
acoustics



Available online at www.sciencedirect.com

SCIENCE @ DIRECT®

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

JOURNAL OF
SOUND AND
VIBRATION

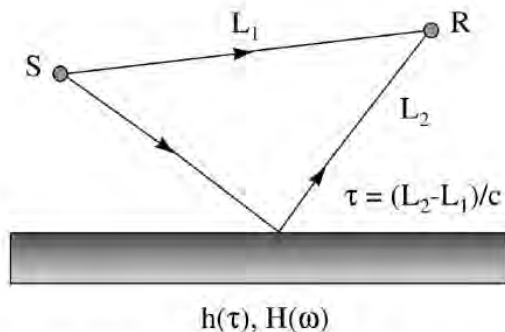
www.elsevier.com/locate/jsvi

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

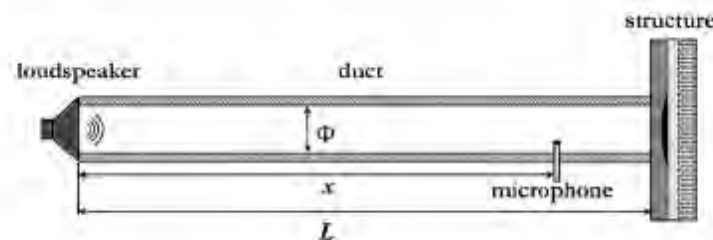


Assessment of fresco detachments through a non-invasive acoustic method

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



Optics and Lasers in Engineering 25 (1996) 227–246
Copyright © 1996 Elsevier Science Limited
Printed in Northern Ireland. All rights reserved
0143-8166/96/\$15.00

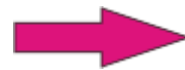
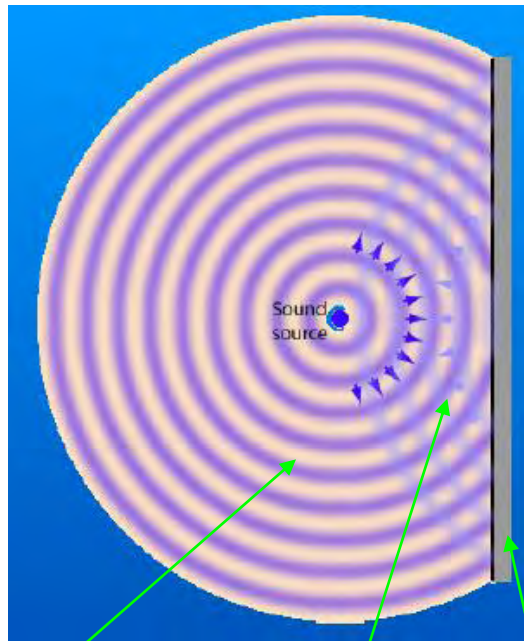
0143-8166(95)00073-9

The Laser Doppler Vibrometer as an Instrument for Nonintrusive Diagnostic of Works of Art: Application to Fresco Paintings

Paolo Castellini, Nicola Paone & Enrico Primo Tomasini

Dipartimento di Meccanica, Università degli Studi di Ancona, via Breccie Bianche, I-60131 Ancona, Italy

(Received 30 November 1994; accepted 19 May 1995)



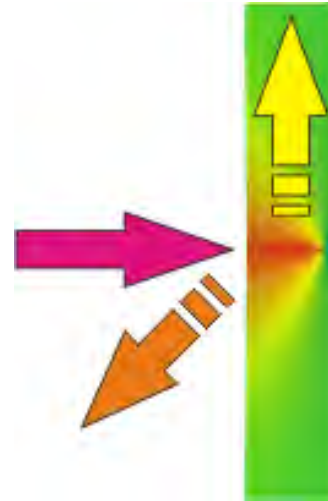
**Energia
incidente**



**Energia
riflessa**



**Energia
Assorbita**



ASSORBIMENTO ACUSTICO

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

Onda Incidente Ostacolo
Onda riflessa

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.

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



Cappella della strage degli innocenti



Cappella della crocifissione

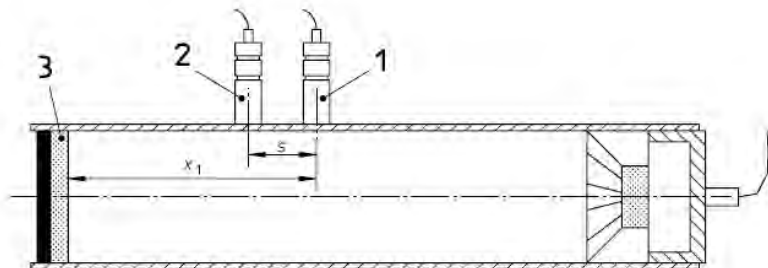


Il metodo “cepstrale” non è applicabile nel nostro caso, a causa della presenza di statue le quali, oltre a costituire un ostacolo dal punto di vista dell’agevolezza della misura, perturbano il campo acustico.



Da: Calicchia, Cannelli: *Revealing surface anomalies in structures by in situ measurement of acoustic energy absorption*, Applied Acoustics, **63** (2002), pp. 43-59

In questa ricerca si applica il metodo 10534-2, per valutare le proprietà “endosuperficiali” di porzioni murarie affrescate.

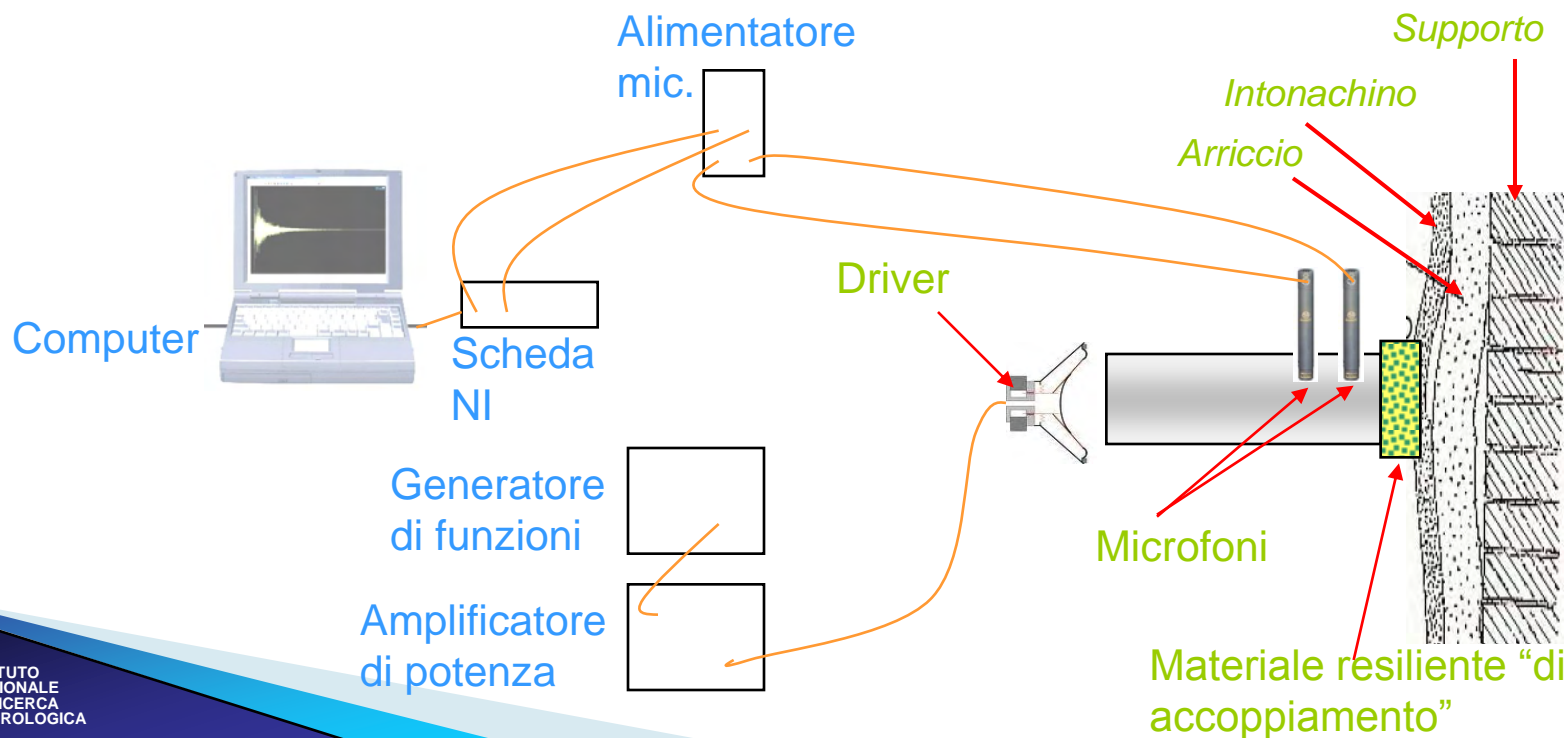


Acustica
 Determinazione del coefficiente di assorbimento acustico e dell'impedenza acustica in tubi di impedenza
 Metodo della funzione di trasferimento

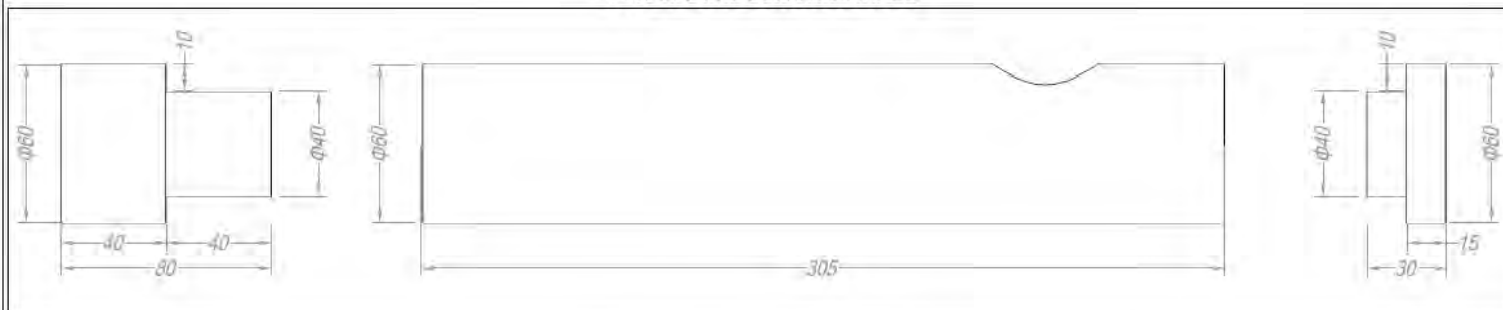
UNI EN ISO
 10534-2

OTTOBRE 2001

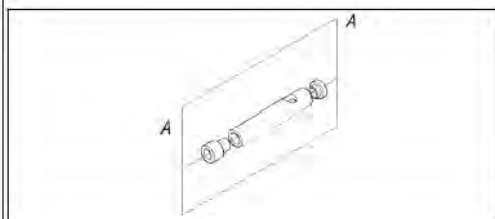
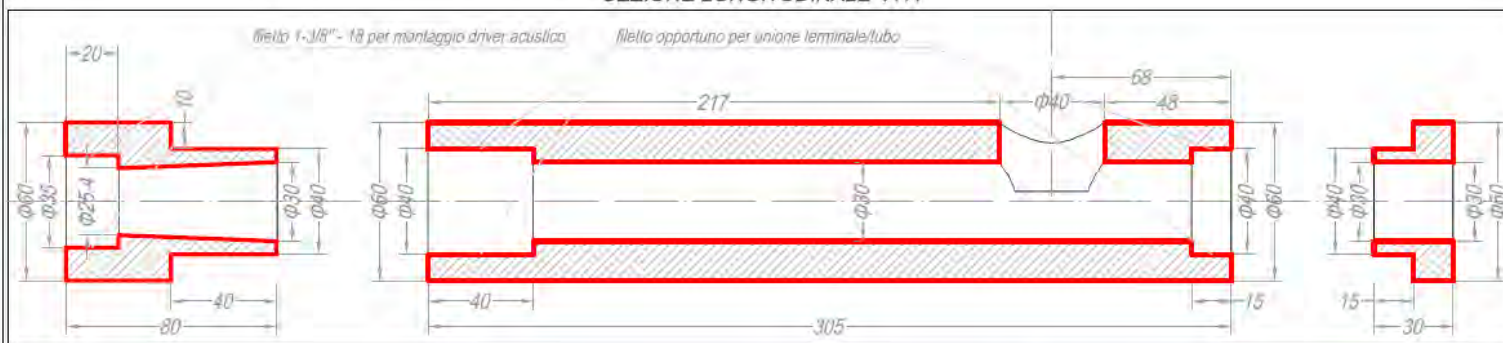
Acoustics
 Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedances tubes
 Transfer-function method



PROSPETTO LONGITUDINALE



SEZIONE LONGITUDINALE "A-A"



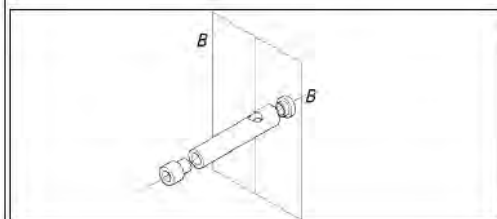
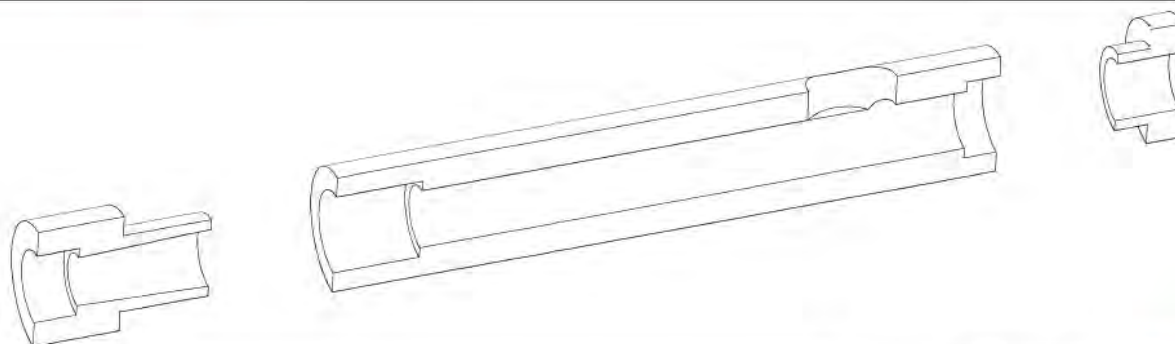
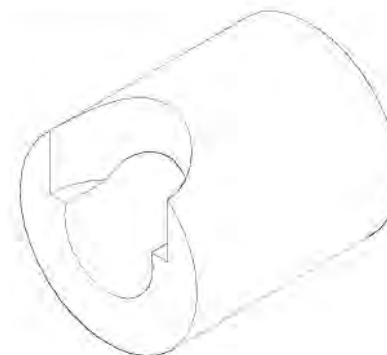
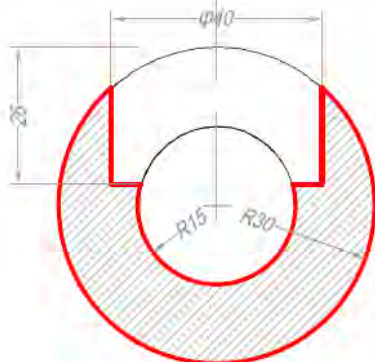
PROGETTO RE-FRESCOS - T4
 DISEGNI PER LA REALIZZAZIONE
 DI UN TUBO AD ONDE STAZIONARIE

REF: Paolo Tarizzo, int. 627 Ultima REV. al
 04/10/2011



CONTENUTI	SCALA	TAVOLA
Prospetto longitudinale tubo e terminali	1:2	1/4
Sezione longitudinale "A-A" tubo e terminali	1:2	
		Quote in mm

SEZIONE TRASVERSALE "B-B"



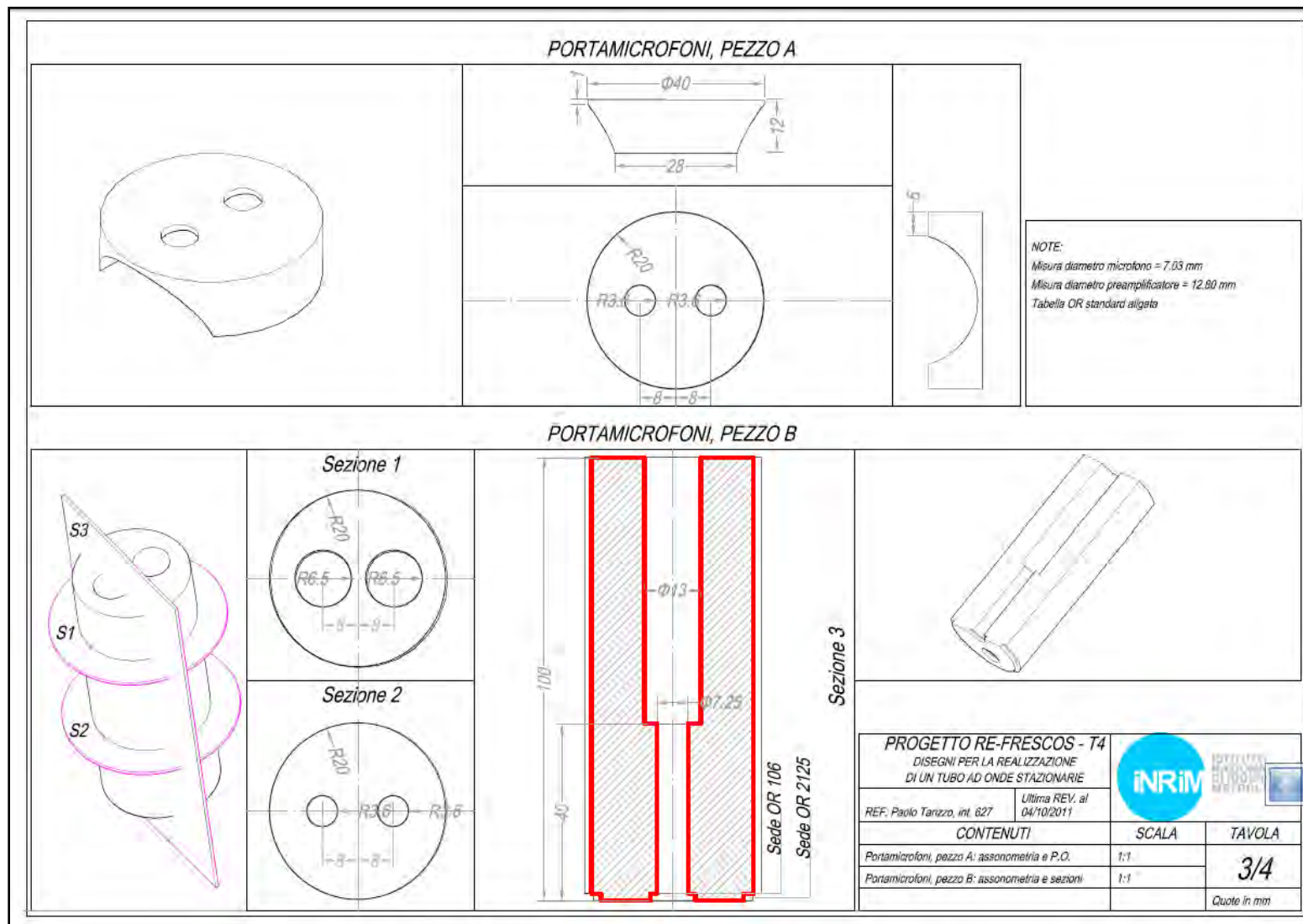
PROGETTO RE-FRESCOS - T4
 DISEGNI PER LA REALIZZAZIONE
 DI UN TUBO AD ONDE STAZIONARIE

REF: Paolo Tarizzo, int. 627

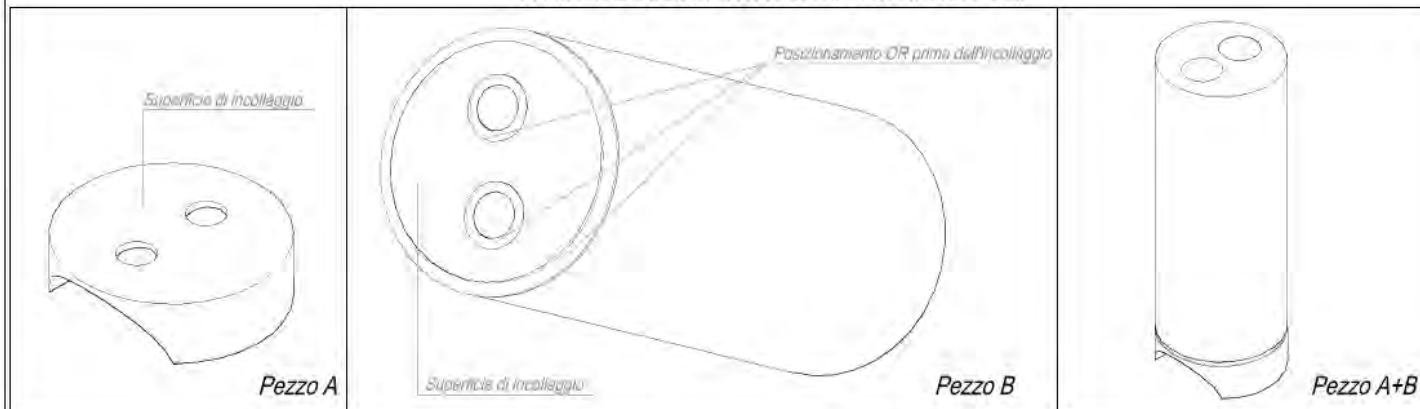
Ultima REV. al
 04/10/2011



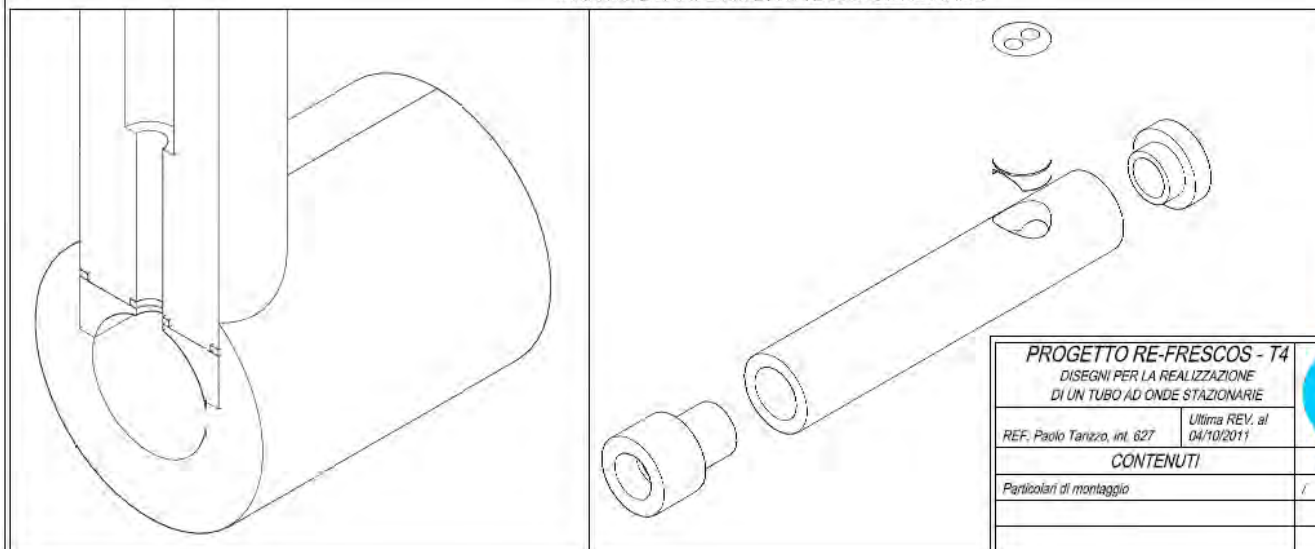
CONTENUTI	SCALA	TAVOLA
Sezione trasversale tubo "B-B"	1:1	2/4
Vista assonometrica tubo e terminali	/	
		Quote in mm



PARTICOLARI DI MONTAGGIO PORTAMICROFONI

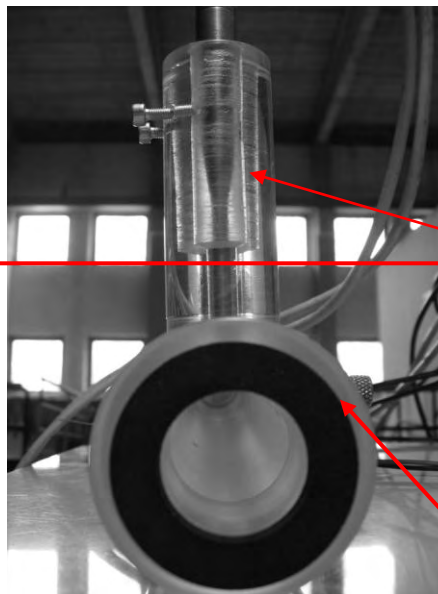
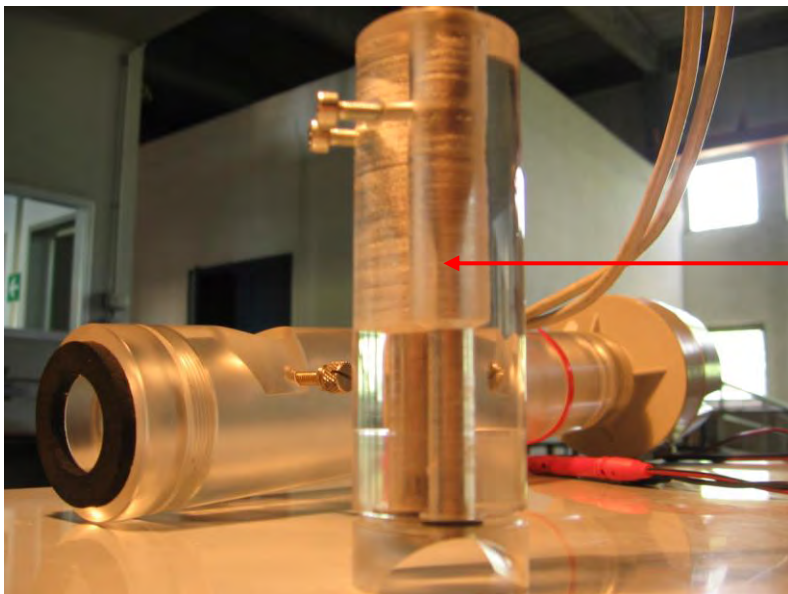


PARTICOLARI DI MONTAGGIO GENERALE



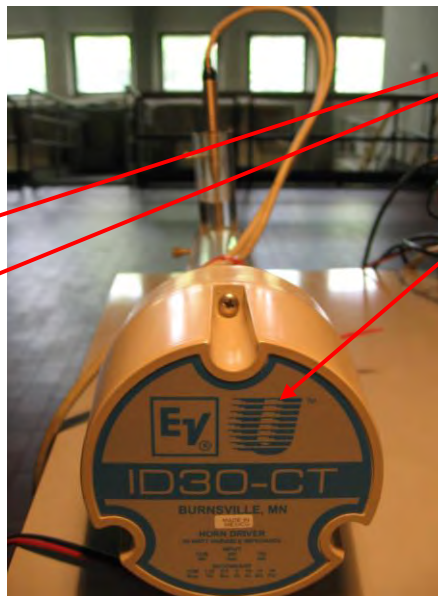
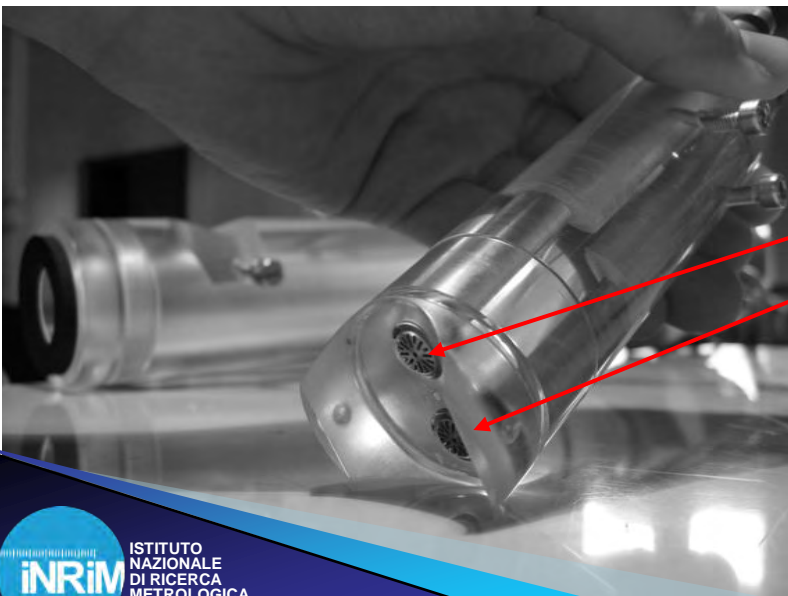
PROGETTO RE-FRESCOS - T4 DISEGNI PER LA REALIZZAZIONE DI UN TUBO AD ONDE STAZIONARIE		
REF: Paolo Tarizzo, int. 627	Ultima REV. al 04/10/2011	 
CONTENUTI	SCALA	TAVOLA
Particolari di montaggio	/	4/4

REALIZZAZIONE DEL TUBO RE-FRESCOS



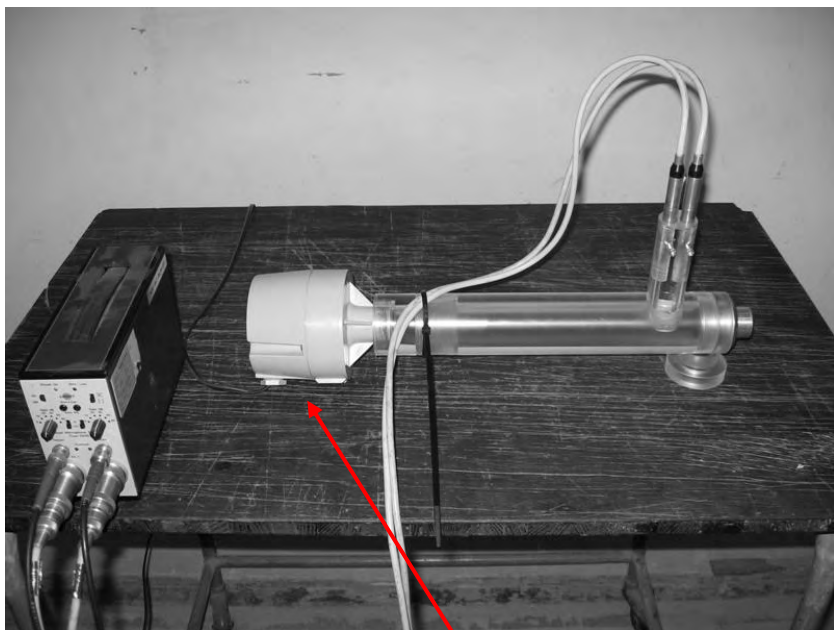
Portamicrofoni

Testa del tubo

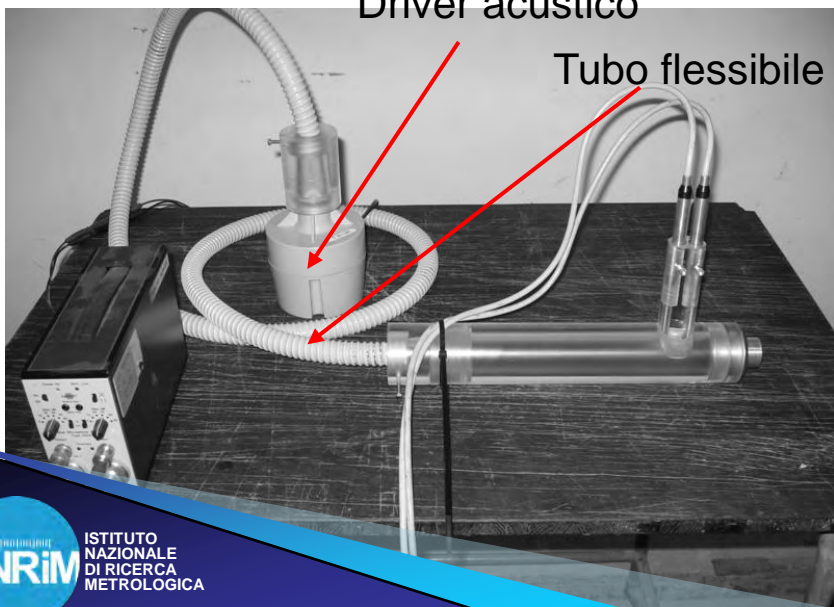


Microfoni

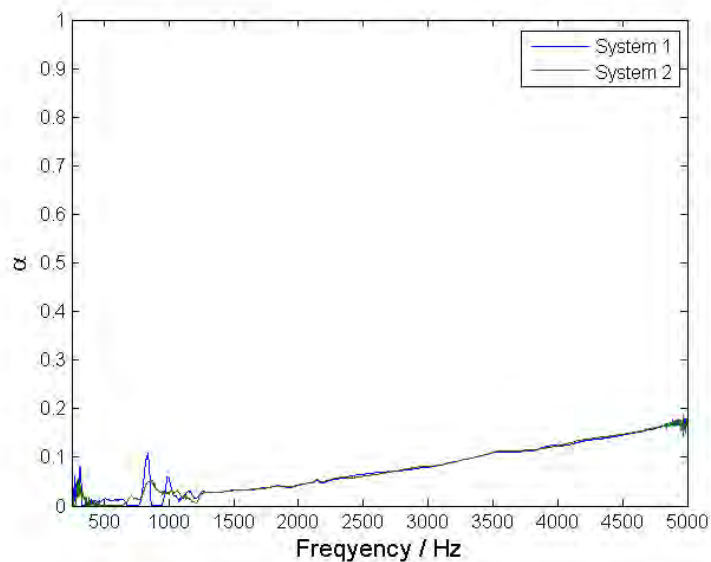
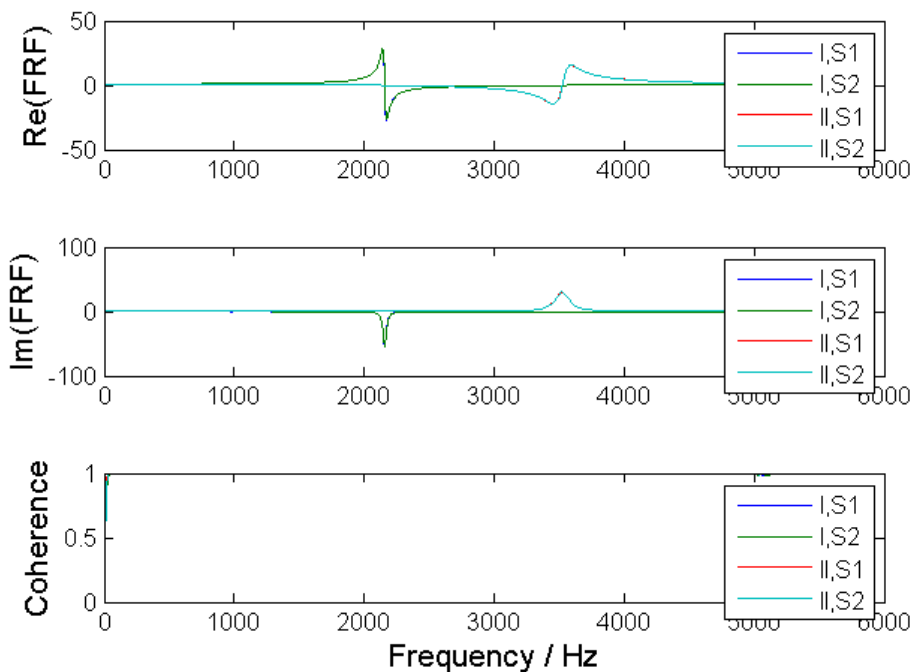
Driver acustico



Driver acustico

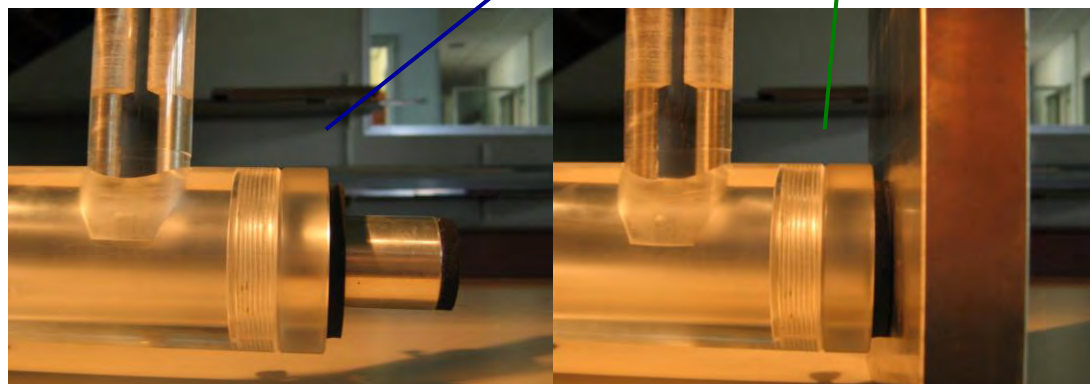
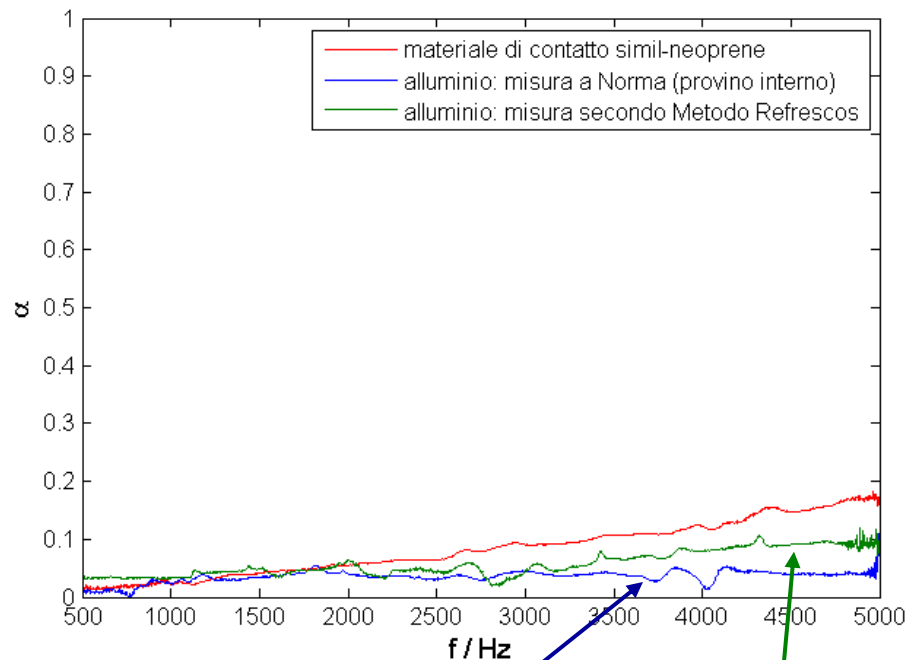


Tubo flessibile



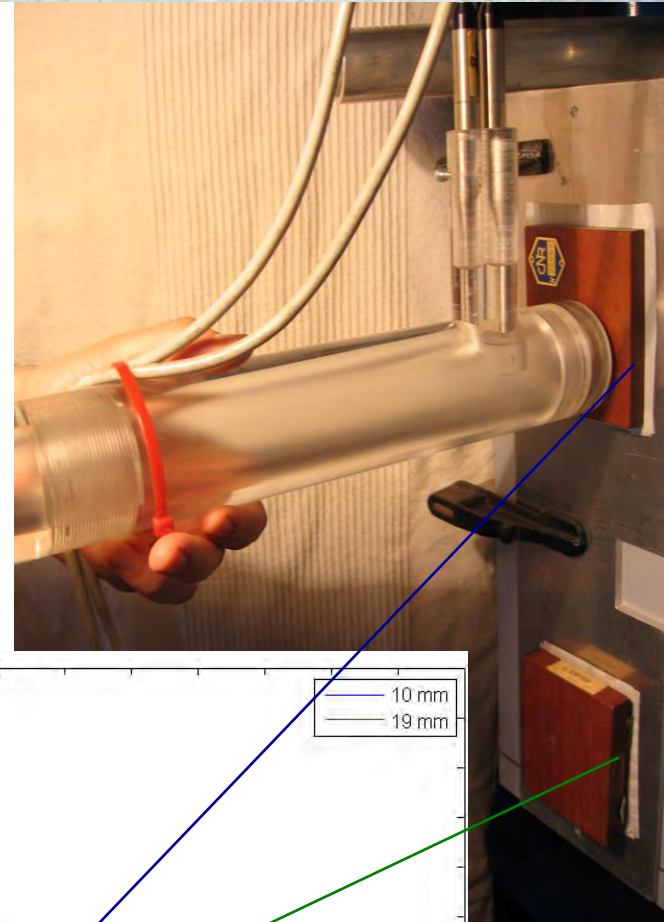
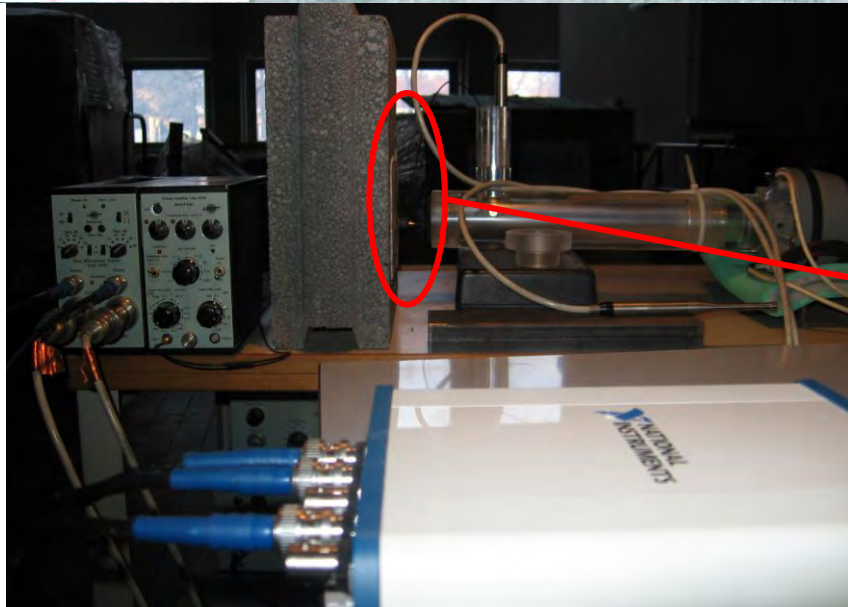


Il materiale di contatto consiste in uno strato di gomma sintetica simil-neoprene, a celle chiuse, dello spessore di 5 mm. La sua deformabilità permette di colmare le irregolarità superficiali della parete senza rovinarla e inoltre l'alta resistenza al flusso dovuta alla struttura interna fa sì che l'assorbimento di energia acustica sia modesto e noto.

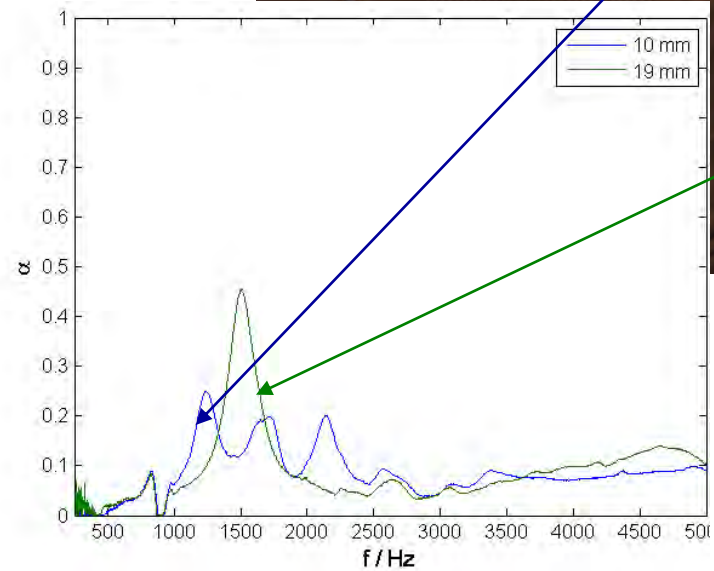
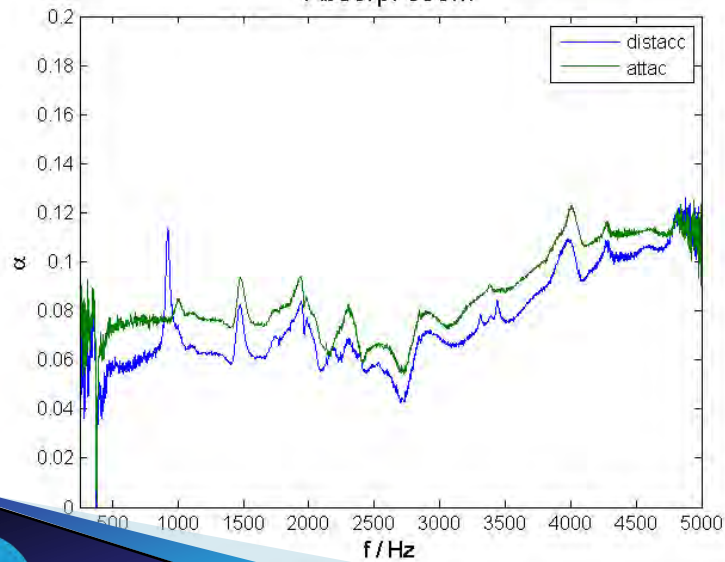


Provino cilindrico (interno) Provino esterno (M. ReFr.)

1) IL MATERIALE DI CONTATTO, SEBBENE INFLUENZI LA MISURA DEL COEFFICIENTE DI ASSORBIMENTO DELL'ELEMENTO IN PROVA, NON RIDUCE DRASTICAMENTE LA DINAMICA SPERIMENTALE E CONSENTE UN'INDAGINE IN TERMINI RELATIVI.



Absorp. coeff.

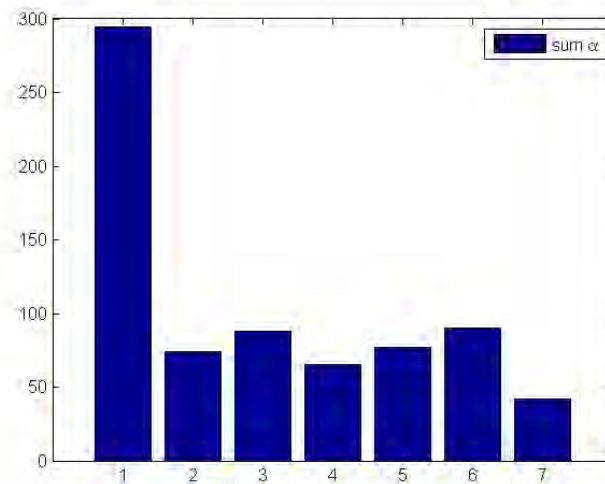
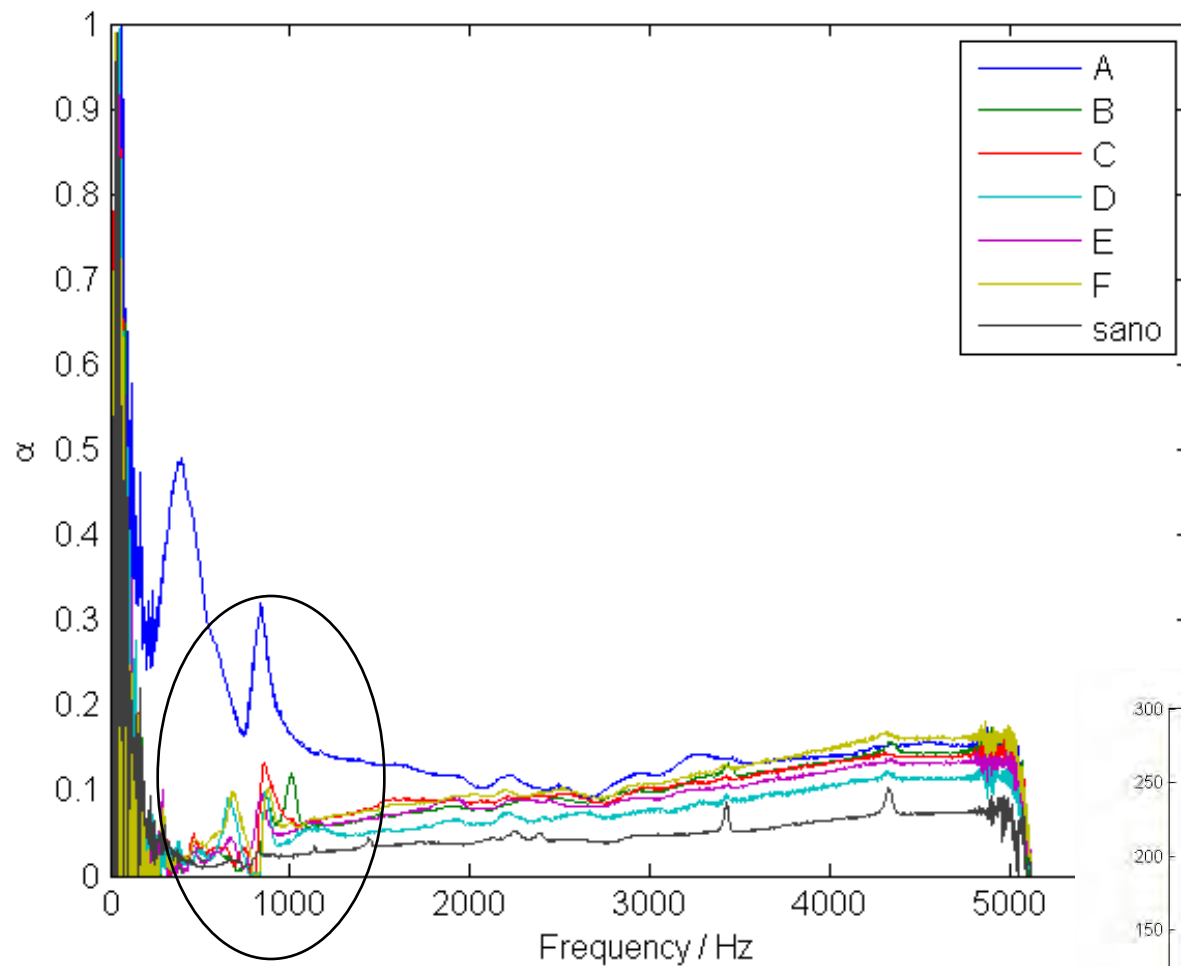


2) LE PROPRIETA' SUPERFICIALI DELL'AFFRESCO POSSONO (OVVIAMENTE –DEVONO-) INFLUIRE SULLA MISURA DEL COEFFICIENTE DI ASSORBIMENTO

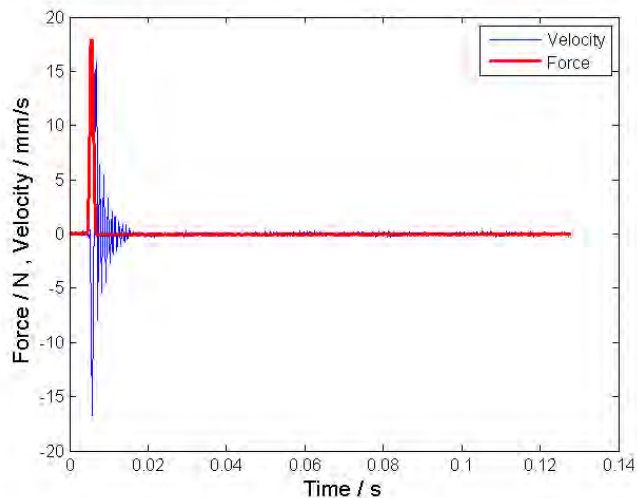
3) A PARI PROPRIETA' (in termini di assorbimento ac.) SUPERFICIALI, IL METODO PROPOSTO E' "ENDOSENSIBILE"

INTONACI DI LABORATORIO

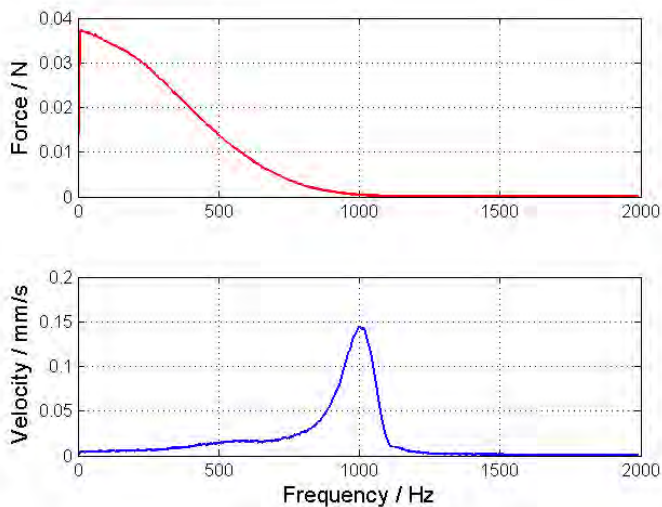




Time History

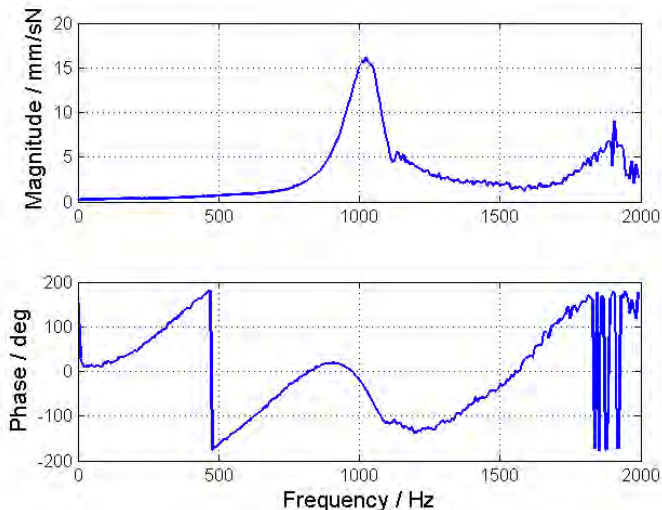


Power Spectrum



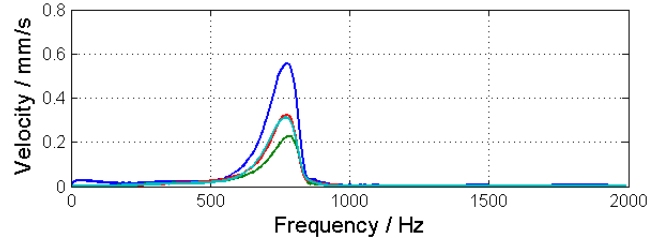
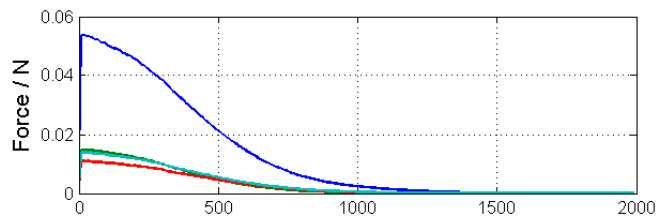
La misura dell'impedenza meccanica (o della mobilità, che ne è il rapporto inverso), rende evidente l'effetto di risonanza della cavità acustica sottostante la parte corticale di intonaco.

Mechanical Mobility

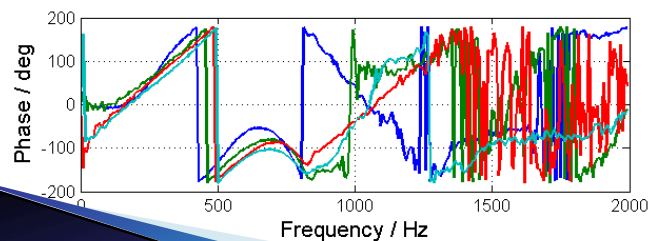
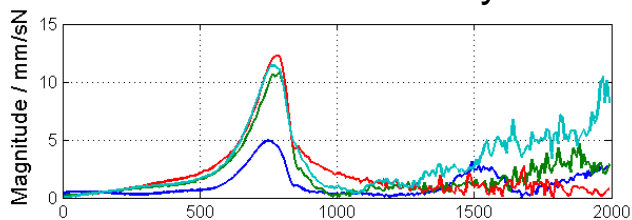


Provino B

Power Spectrum

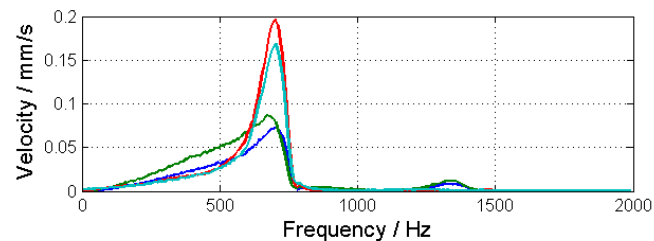
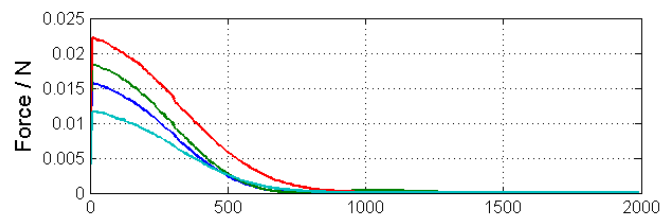


Mechanical Mobility

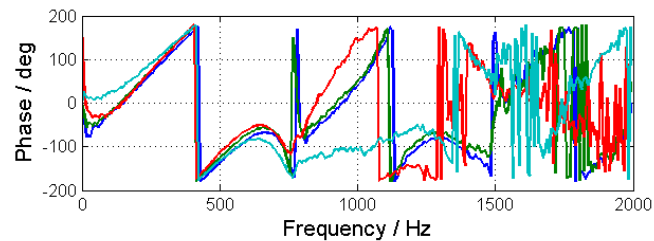
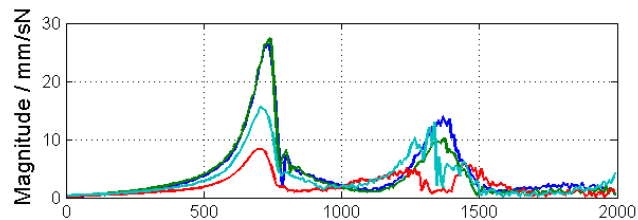


Provino A

Power Spectrum



Mechanical Mobility



Provino C

4) MISURE DI IMPEDENZA ACUSTICA E IMPEDENZA MECCANICA CONFERMANO LA PRESENZA DI RISONANZE ACUSTICHE NEI CASI DI DIFETTO E, SORPRENDENTEMENTE (!!!) I MODI ACUSTICI RILEVATI CON LE DUE DIFFERENTI TECNICHE SONO MOLTO SIMILI

5) NELLE PROVE DI LABORATORIO IL METODO DEL TUBO RE-FRESCOS MOSTRA OTTIMI RISULTATI

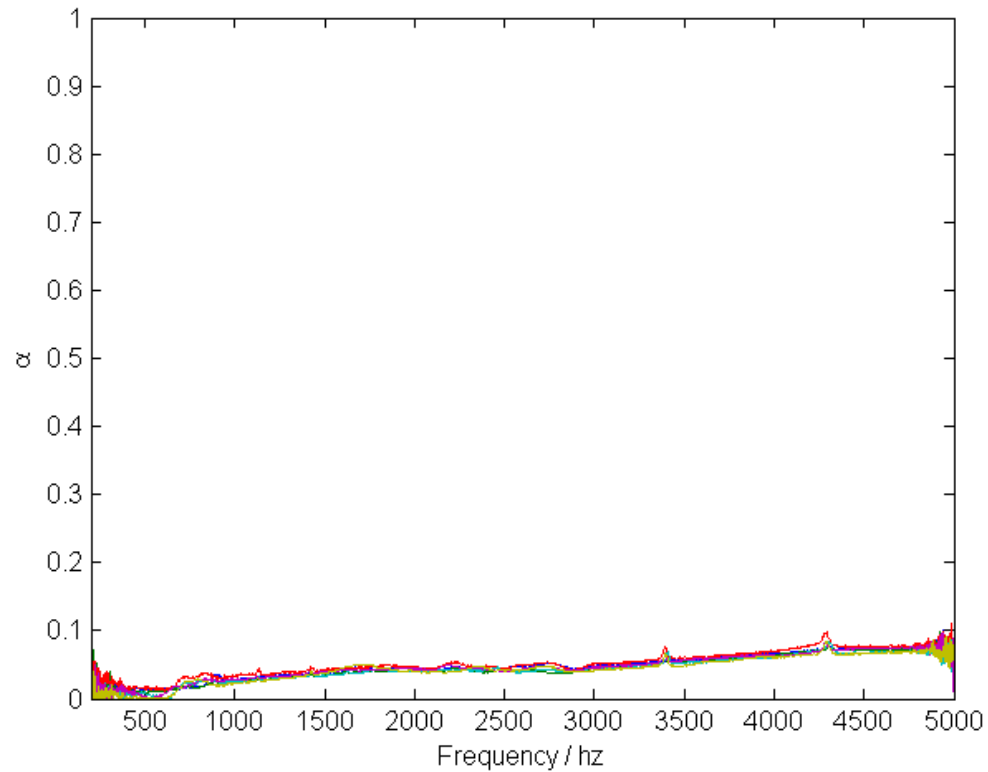


SACRO MONTE DI VARALLO
Cappella 17, La trasfigurazione



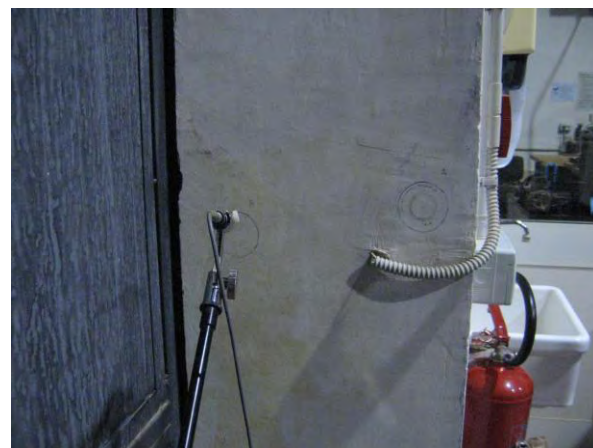
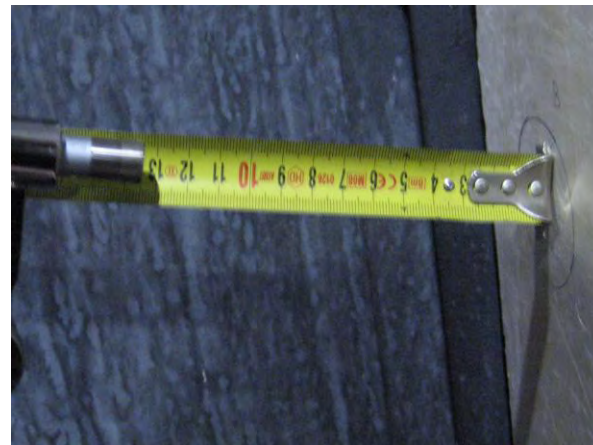
E IN SITU ???

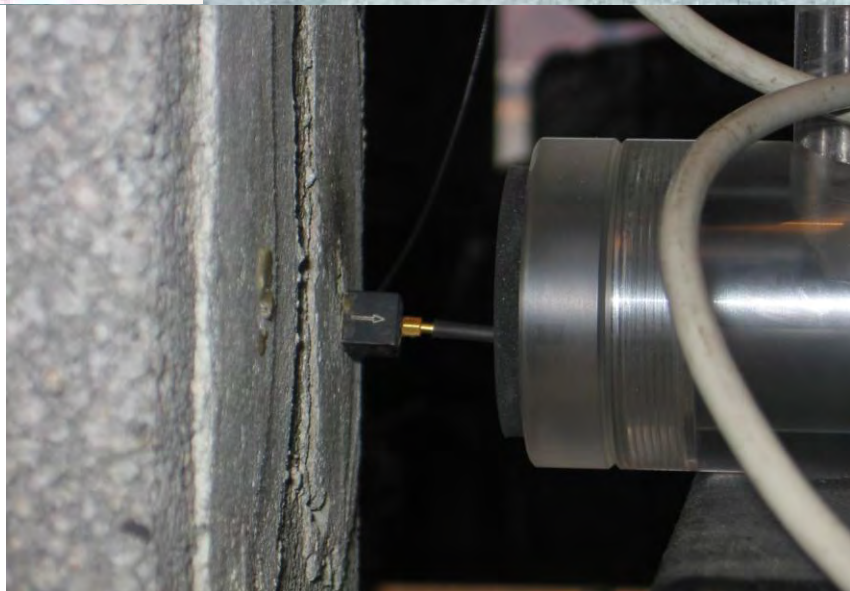




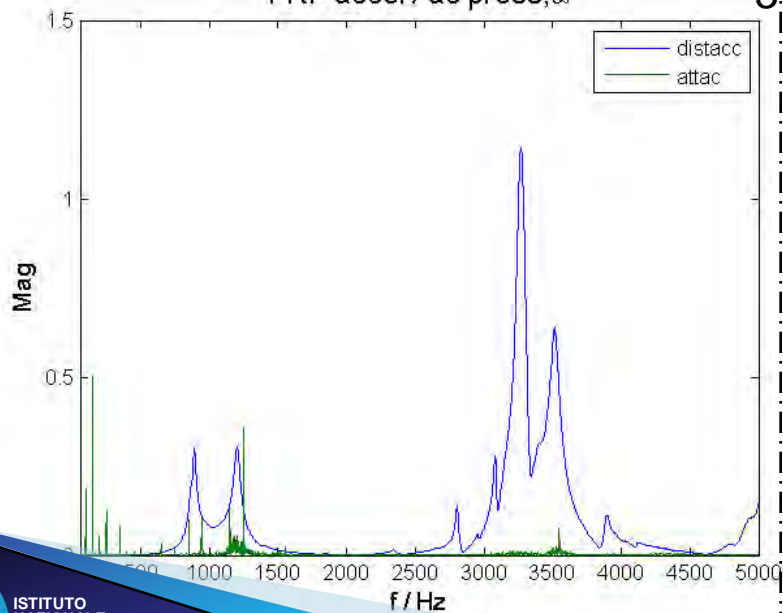
Non sembrano esserci risonanze...eppure..la parete, se eccitata via “knocking”, in alcuni punti suona a vuoto

E IN SITU ???

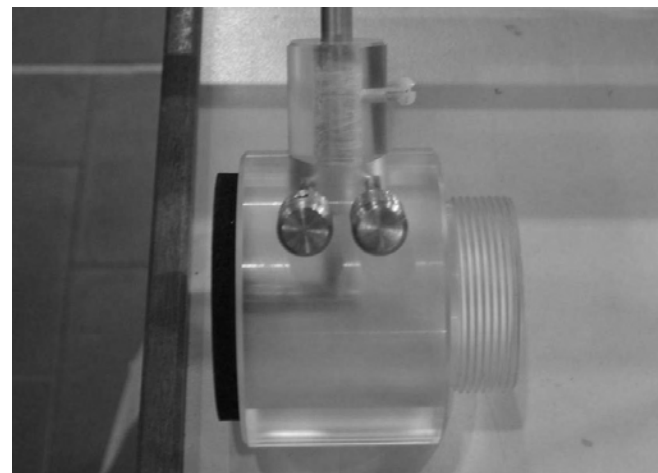
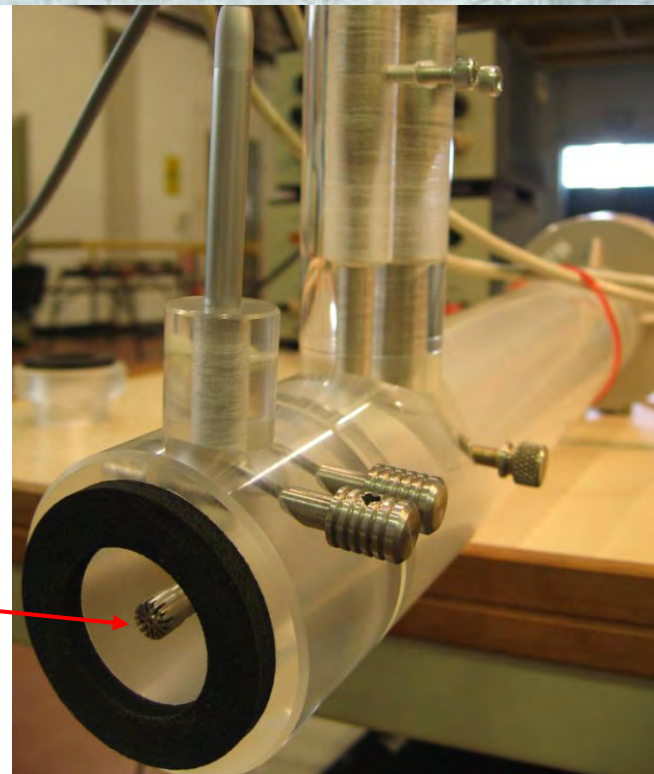


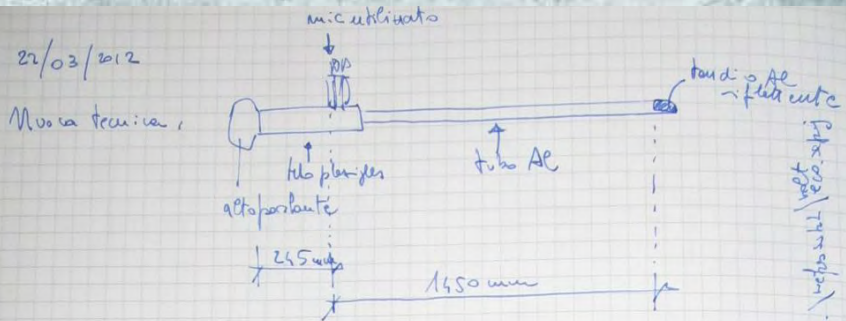
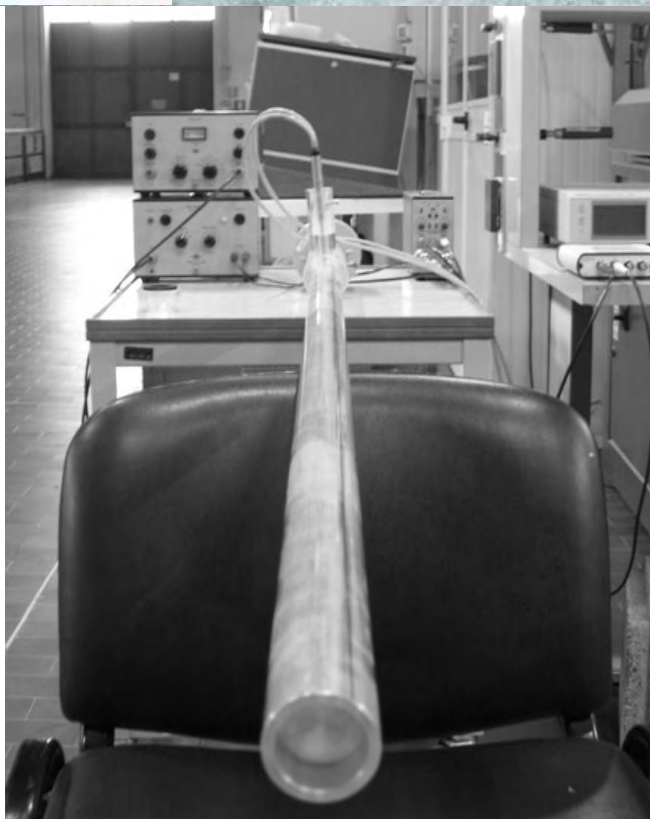


FRF accel / ac press, α



3^o microfono





Nota = funz. di trasferimento tra sorgente e microfono.

$f_s = 12800$
 $nfft = 20480$

S.V. naturale $\rightarrow L_r, L_i = 5120 \approx nfft$

W. campionati nel tempo

reconstruct H (matlab) $\leftarrow nfft \neq L_{r,i} = 2^{\wedge}(\text{nextpow}(L_{r,i}))$

in questo caso $nfft = 8192$
 quindi costruire la H tenendo in mind.
 Questo numero di punti $nfft = 8192$

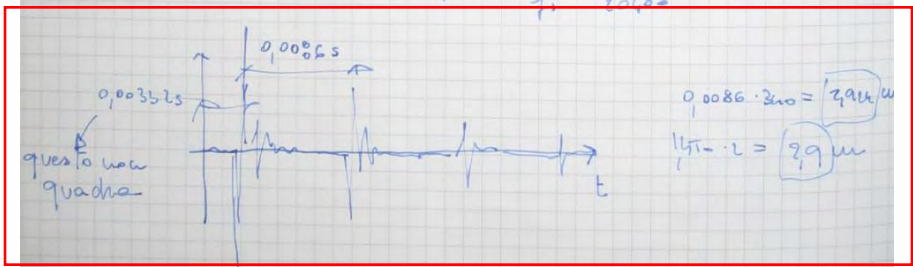
Ma io aveva misurato L_r, i , con 10240, tradotto in $nfft = 5120$

La freq. di campionamento usata effettivamente, allora è la due in:

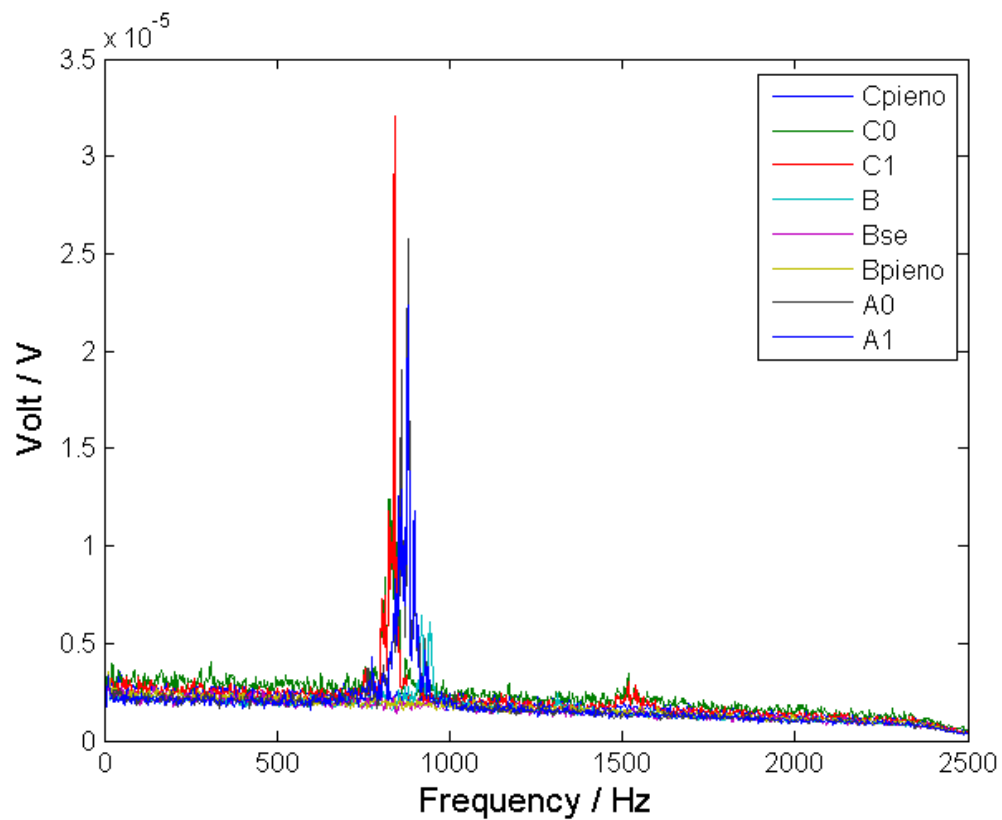
$$f_s = 12800 \cdot \frac{8192}{5120} = 12800 \cdot 1,6 = 20480$$

Questo perché "S.V. naturale" non ragiona con pot. di 2 e gestisce in maniera \neq il filtro anti aliasing.

L'ome dei tempi allora ora un Δt per $a \frac{1}{f_s} = \frac{1}{20480} = 4,8828e-5$



G. V. ...





PROGETTO REFRESCOS : WP5

***Simulazione numerica del fenomeno di distacco
tra materiali eterogenei soggetti a variazioni di
temperatura mediante il modello della fessura
coesiva all'ambito termoelastico***

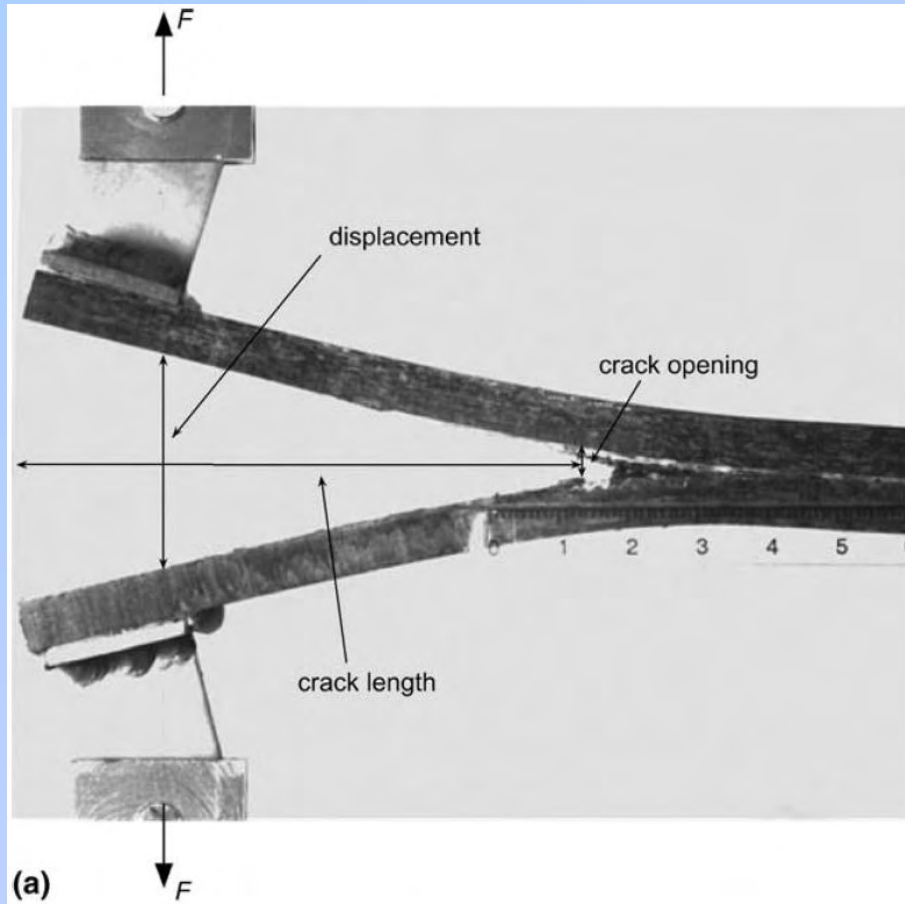
Dr. Alberto Sapora and Dr. Ing. Marco Paggi

**Department of Structural, Building and Geotechnical Engineering
Politecnico di Torino, Torino, Italy**

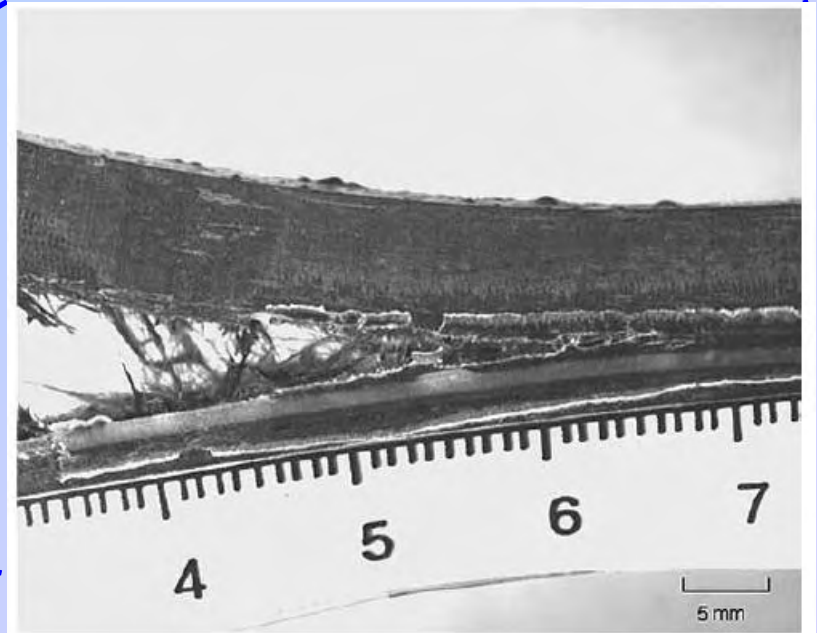
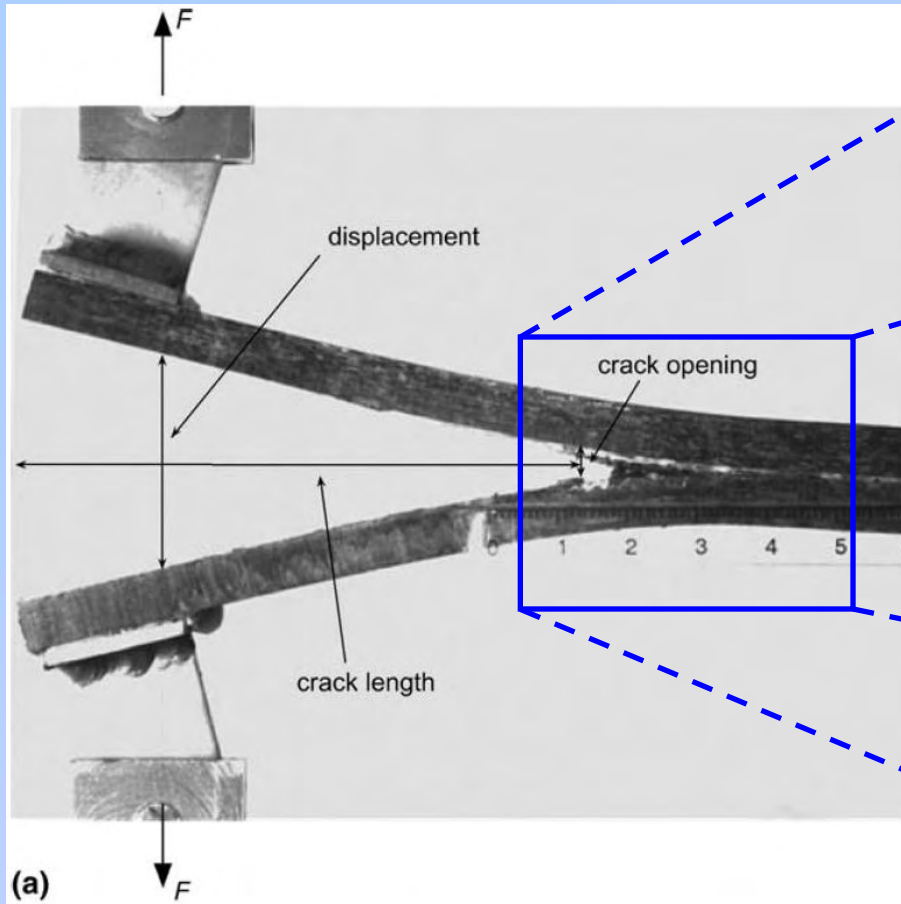
Outline

- **Introduction on the cohesive zone model**
- **Extension of the classical cohesive zone model to coupled thermoelastic problems**
- **Preliminary example showing a thermally induced crack growth at a bi-material interface**

Interface fracture – the CZM

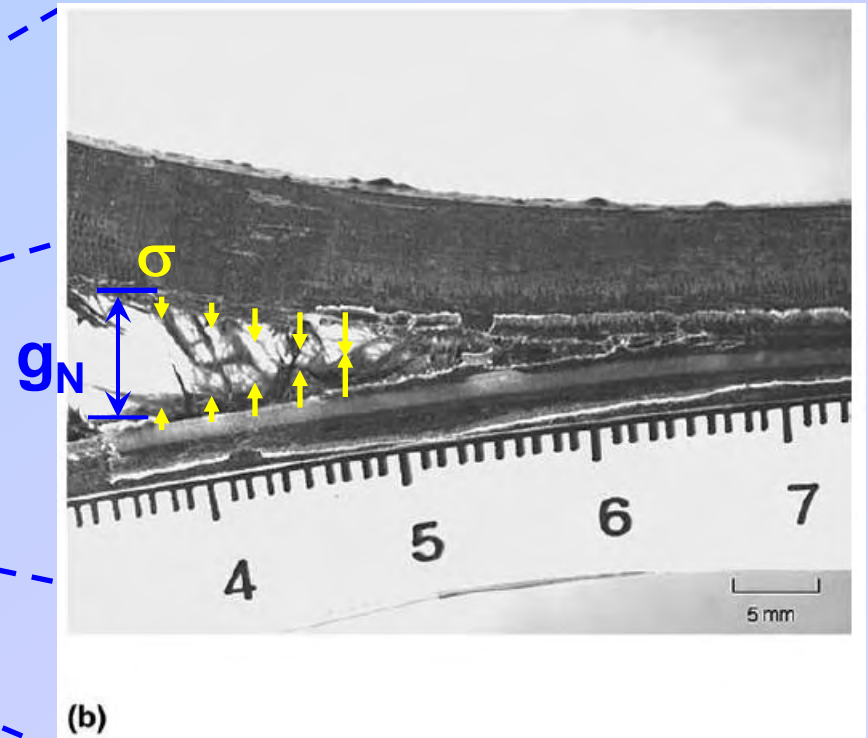
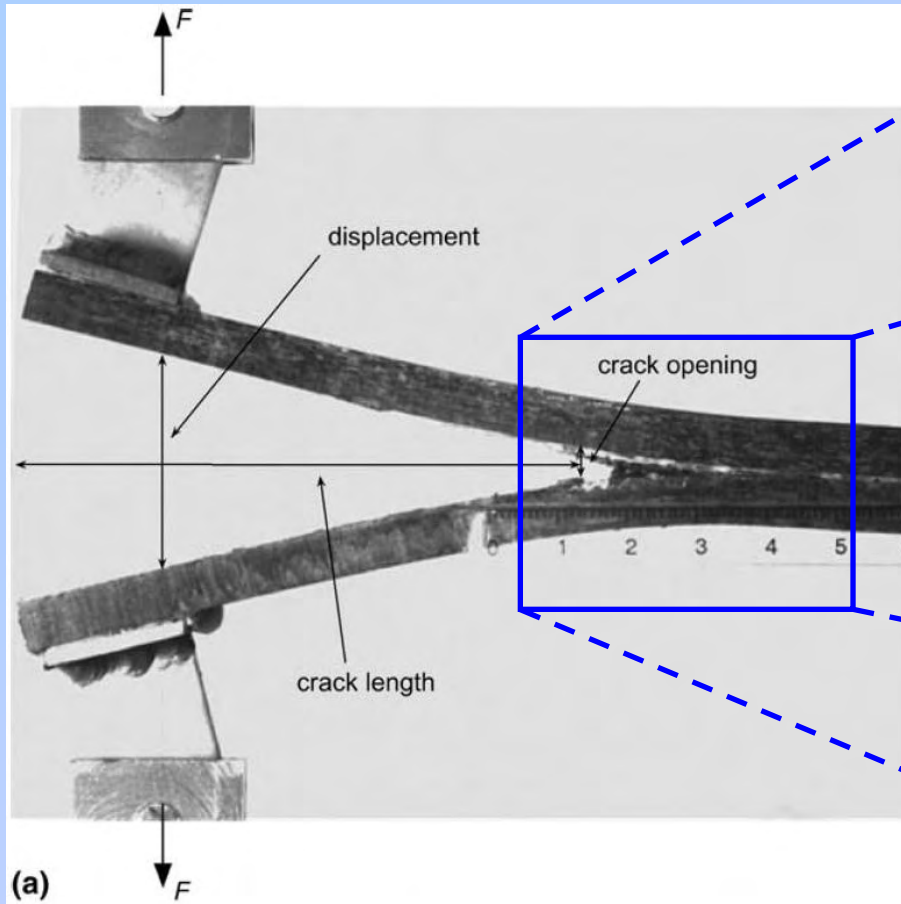


Interface fracture – the CZM

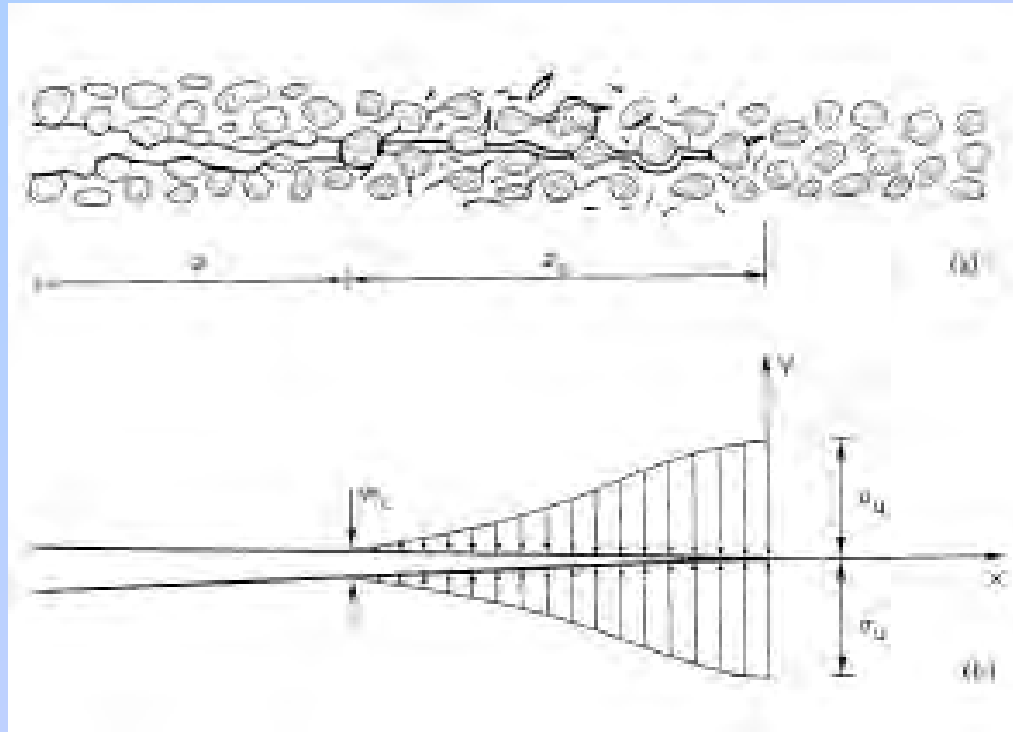


(b)

Interface fracture – the CZM

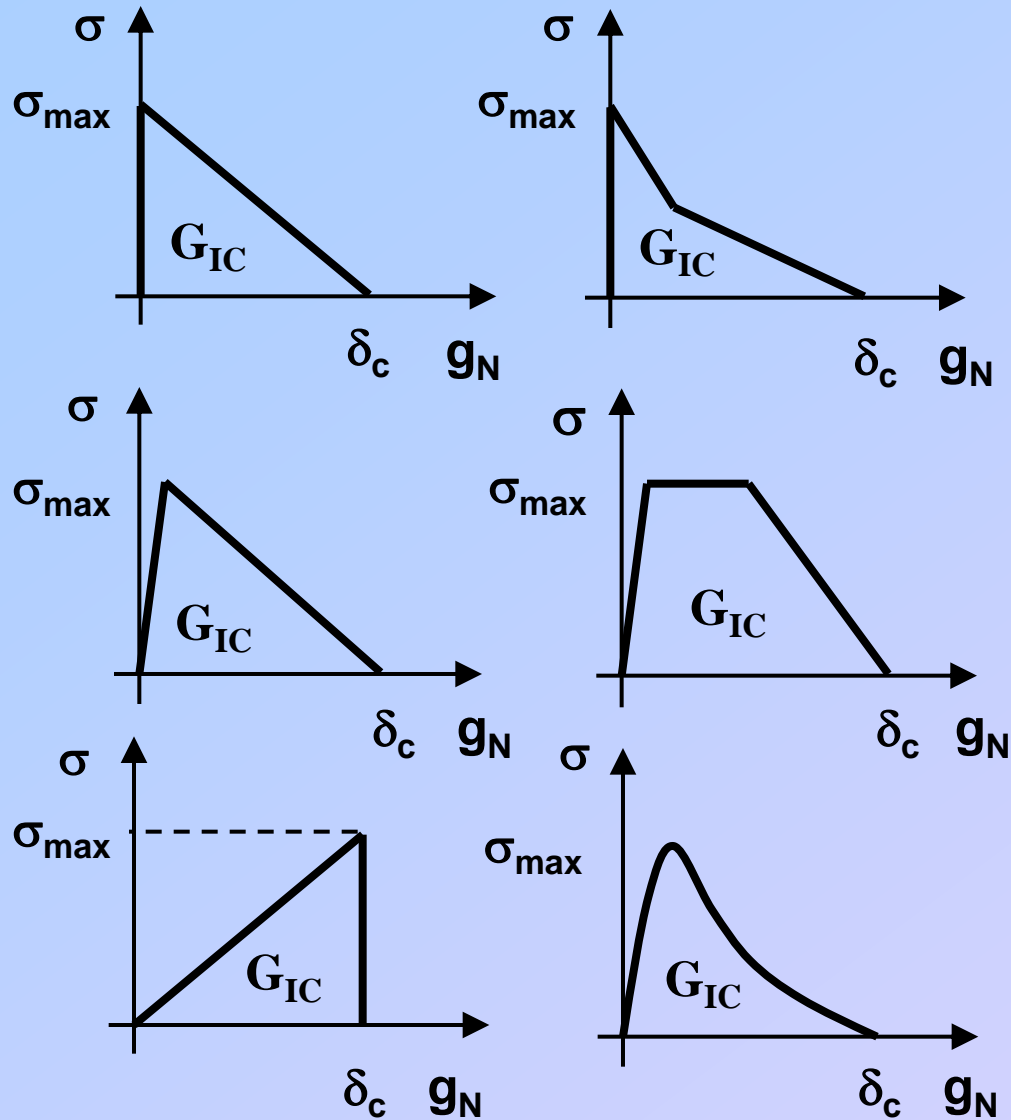


Cohesive cracking in quasi-brittle materials

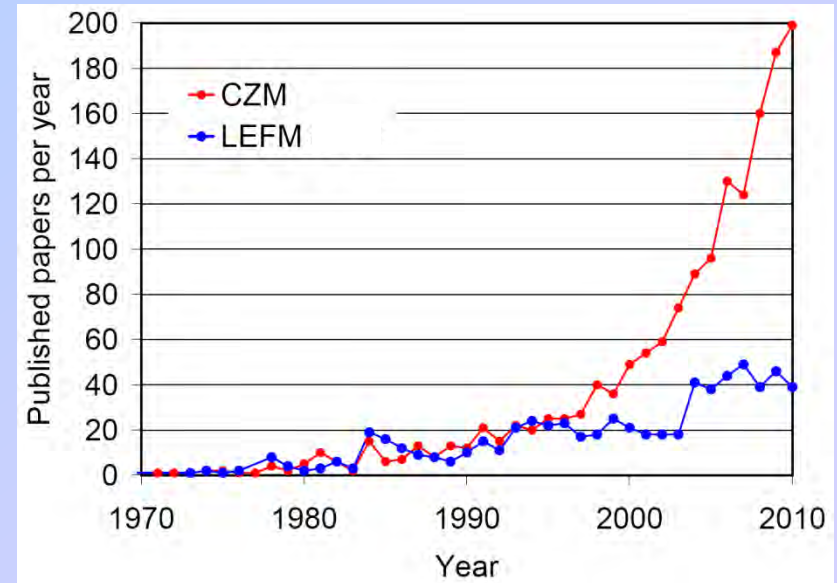
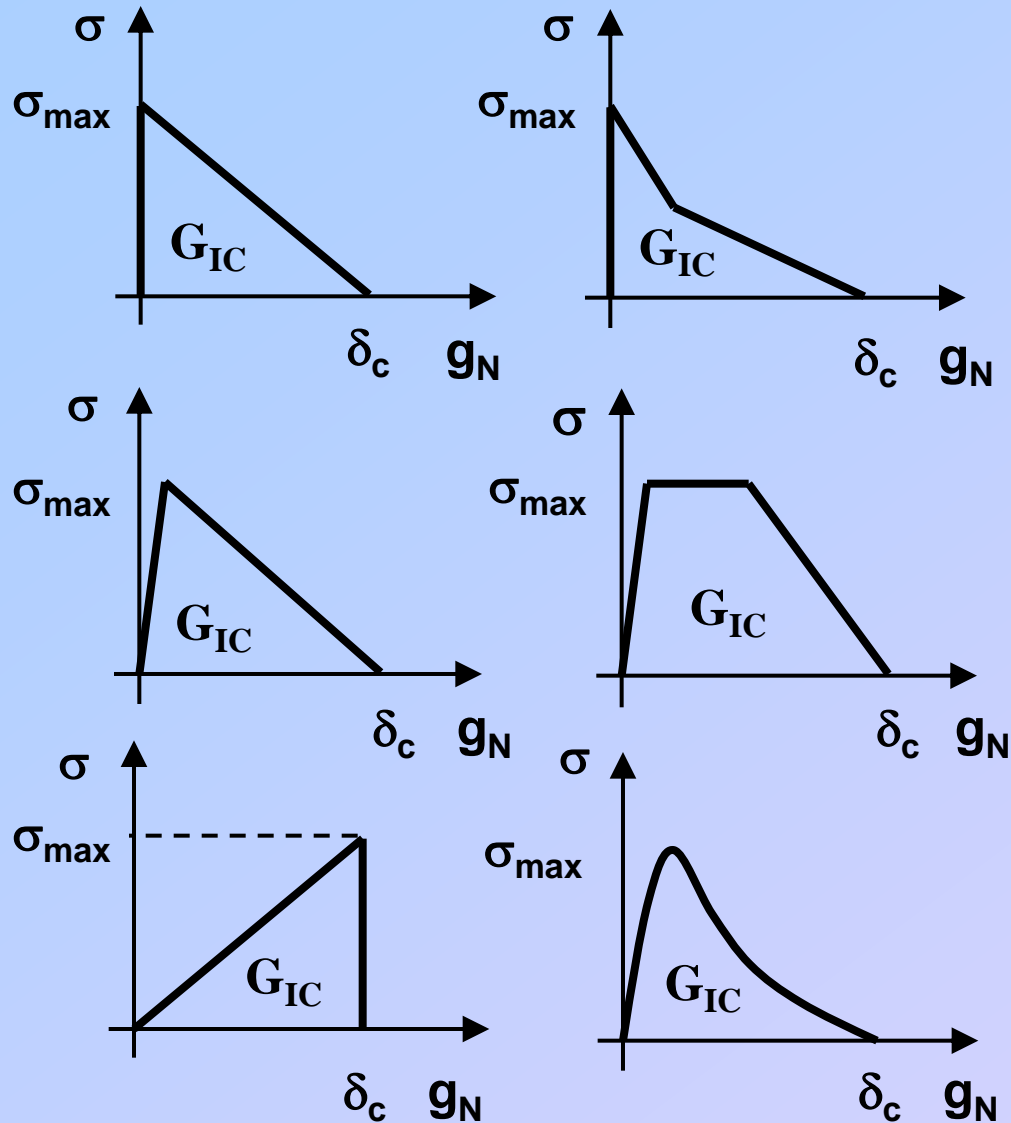


Carpinteri, *J Mech Phys Solids* (1989)
Carpinteri, *J Eng Mech* (1989)

Cohesive Zone Models (CZMs)

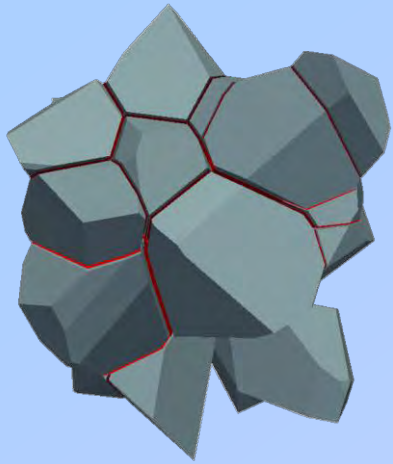


Cohesive Zone Models (CZMs)

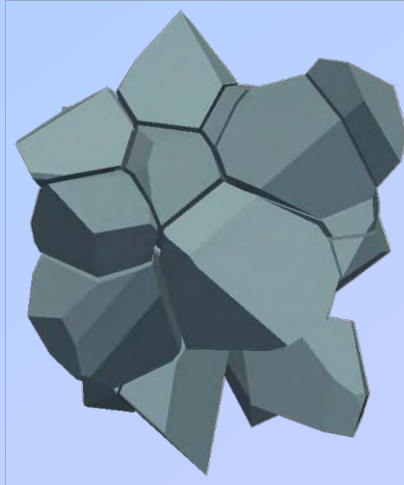


Source: SCOPUS

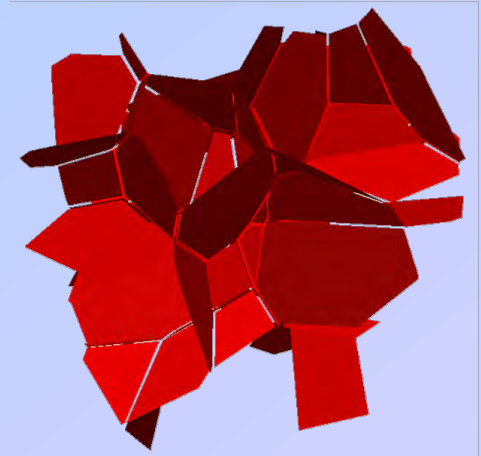
Application to intergranular fracture



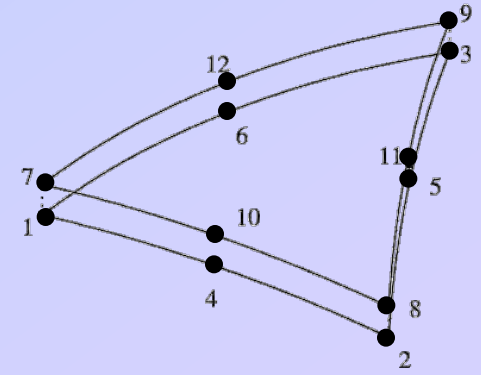
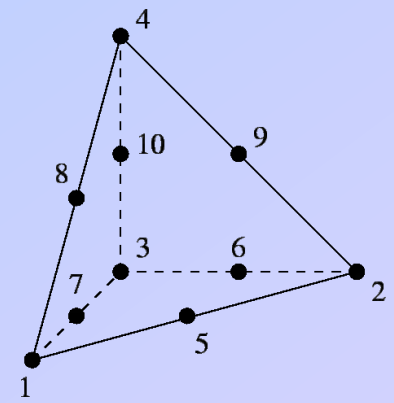
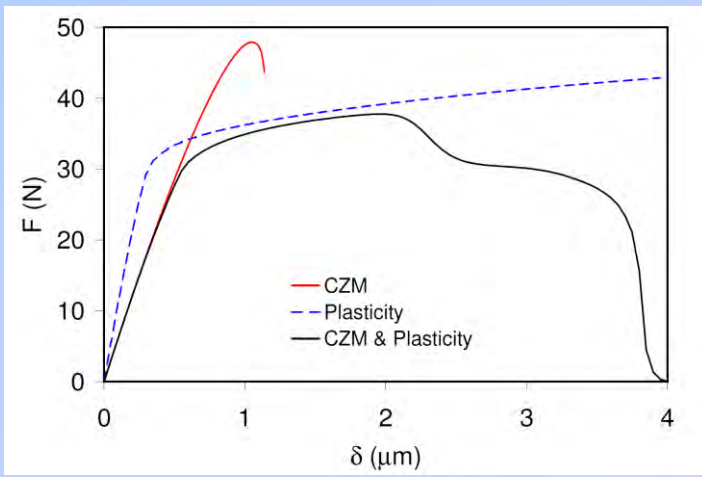
3D polycrystal



Grains



Grain boundaries



Paggi, Lehmann, Weber, Carpinteri, Wriggers (2012)

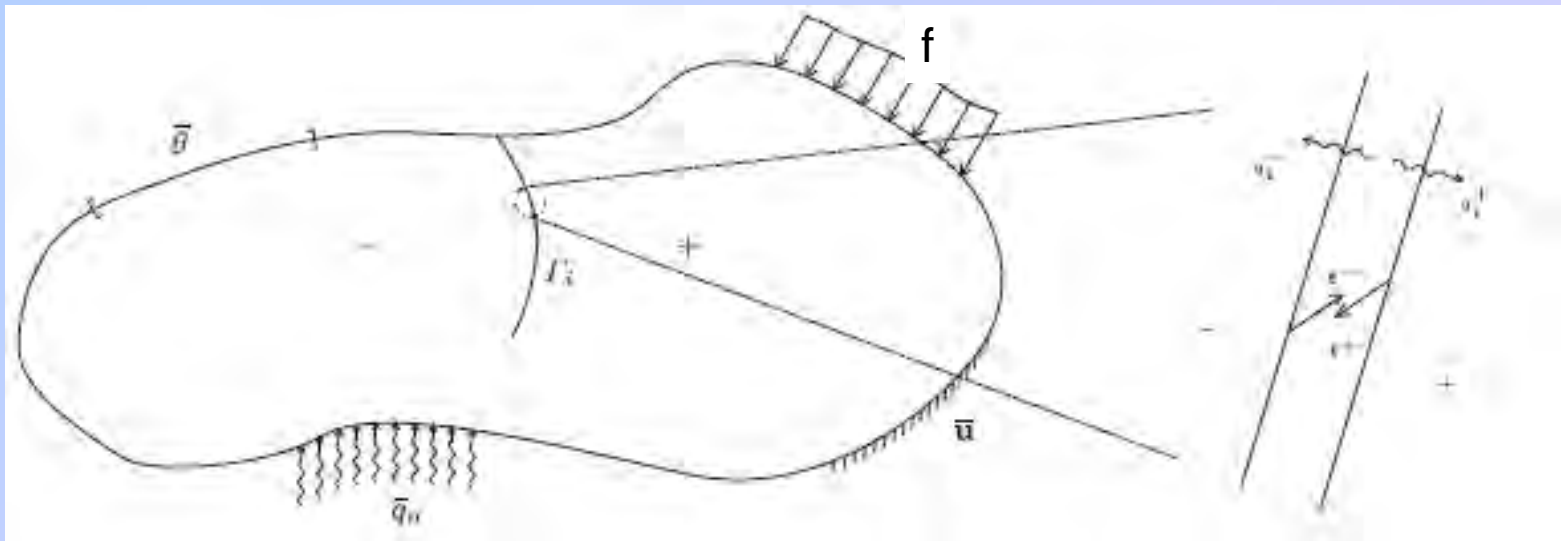
Analysis of debonding phenomena in decorated mural elements by numerical models based on Fracture Mechanics:

- **Thermal effects**
- **Diffusion problems (permeability, moisture)**

Thermoelasticity: Weak form of the governing eqs

$$\int_V (\nabla \delta \mathbf{u})^T \boldsymbol{\sigma} dV = \int_{\partial V} \delta \mathbf{u}^T \mathbf{f} dS + \int_S \delta \mathbf{g}^T \mathbf{t} dS \quad \leftarrow \begin{array}{l} \text{CZM} \\ \text{contributions} \end{array}$$

$$\int_V q \nabla \delta T dV = \int_V \rho c_V \dot{T} \delta T dV + \int_{\partial V} q_n \delta T dS + \int_S q_s \delta T dS$$



FE implementation of the thermoelastic CZM

Relative nodal displacements and temperatures:

$$\Delta \mathbf{u}^* = (u_4^* - u_1^*, v_4^* - v_1^*, T_4 - T_1, u_3^* - u_2^*, v_3^* - v_2^*, T_3 - T_2)^T$$

$$\Delta \mathbf{u}^* = \mathbf{L} \mathbf{u}^*$$

$$\mathbf{L} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & +1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & +1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & +1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & +1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & +1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & +1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

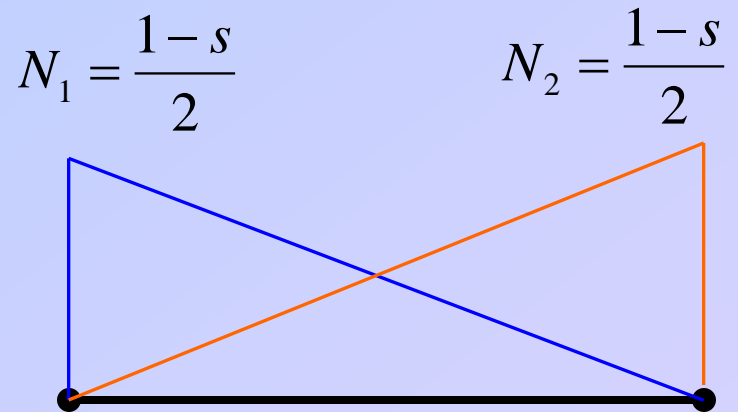
FE implementation of the thermoelastic CZM

Relative displacements and temperatures
in a generic point:

$$\mathbf{g} = (g_T, g_N, \Delta T)^T$$

$$\mathbf{g} = \mathbf{N} \Delta \mathbf{u}^*$$

$$\mathbf{N} = \begin{bmatrix} N_1 & 0 & 0 & N_2 & 0 & 0 \\ 0 & N_1 & 0 & 0 & N_2 & 0 \\ 0 & 0 & N_1 & 0 & 0 & N_2 \end{bmatrix}$$



FE implementation of the thermoelastic CZM

Interface contribution to the weak form:

$$G_{\text{int}} = \int_S \delta \mathbf{g}^T \mathbf{p} \, dS = \int_S (\delta g_T, \delta g_N, \delta \Delta T) \begin{pmatrix} \tau \\ \sigma \\ q_S \end{pmatrix} dS$$

The nonlinear dependency between the vector \mathbf{p} and the gap vector \mathbf{g} has to be linearized for the application of the Newton-Raphson method (Paggi and Wriggers, 2011):

$$\Delta G_{\text{int}} = \int_S (\delta g_T, \delta g_N, \delta \Delta T) \mathbf{C} \begin{pmatrix} g_T \\ g_N \\ \Delta T \end{pmatrix} dS$$

FE implementation of the thermoelastic CZM

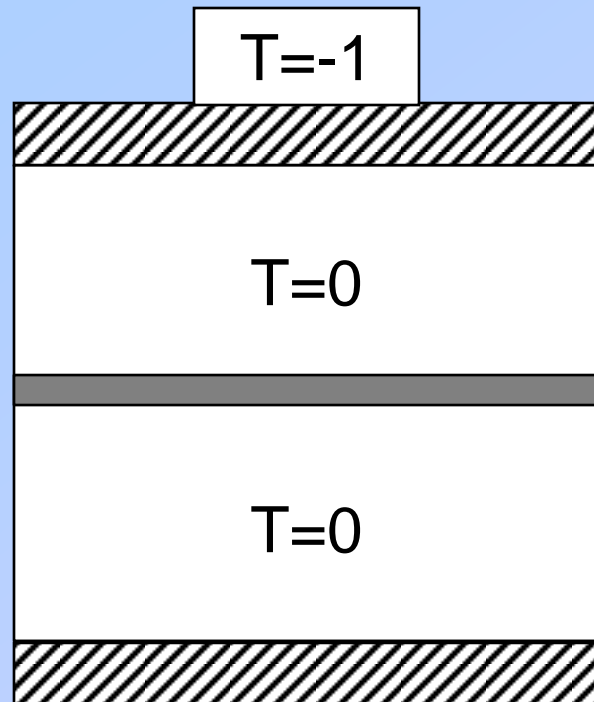
Tangent interface constitutive matrix **C**:

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} \mathbf{C}_M & 0 \\ \mathbf{C}_{TM} & C_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \tau}{\partial g_T} & \frac{\partial \tau}{\partial g_N} & 0 \\ \frac{\partial \sigma}{\partial g_T} & \frac{\partial \sigma}{\partial g_N} & 0 \\ 0 & \frac{\partial q_S}{\partial g_N} & \frac{\partial q_S}{\partial \Delta T} \end{bmatrix}$$

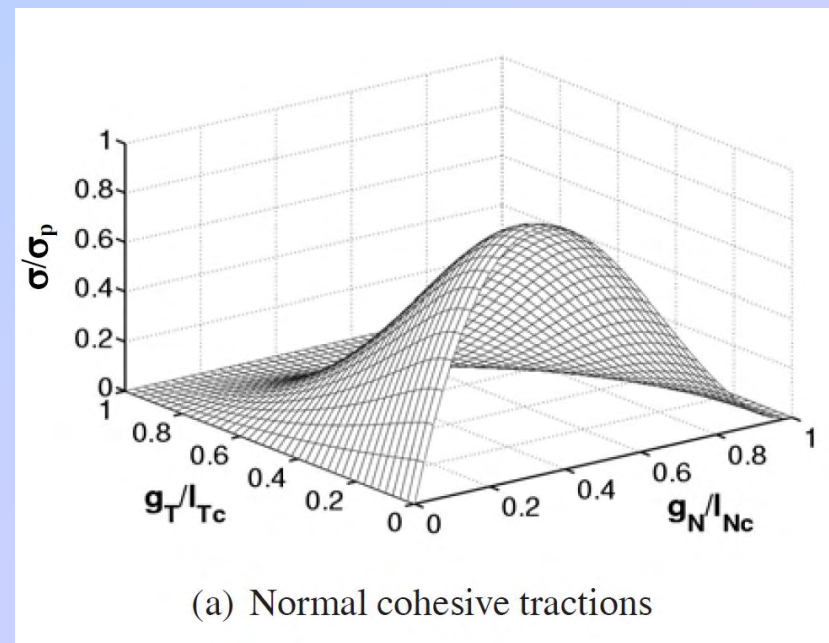
where thermo-mechanical coupling is related to the nonlinear dependency between heat flux and crack opening displacement (Paggi and Barber, 2011):

$$q_S = -k_{\text{int}}(g_N, \Delta T) \Delta T$$

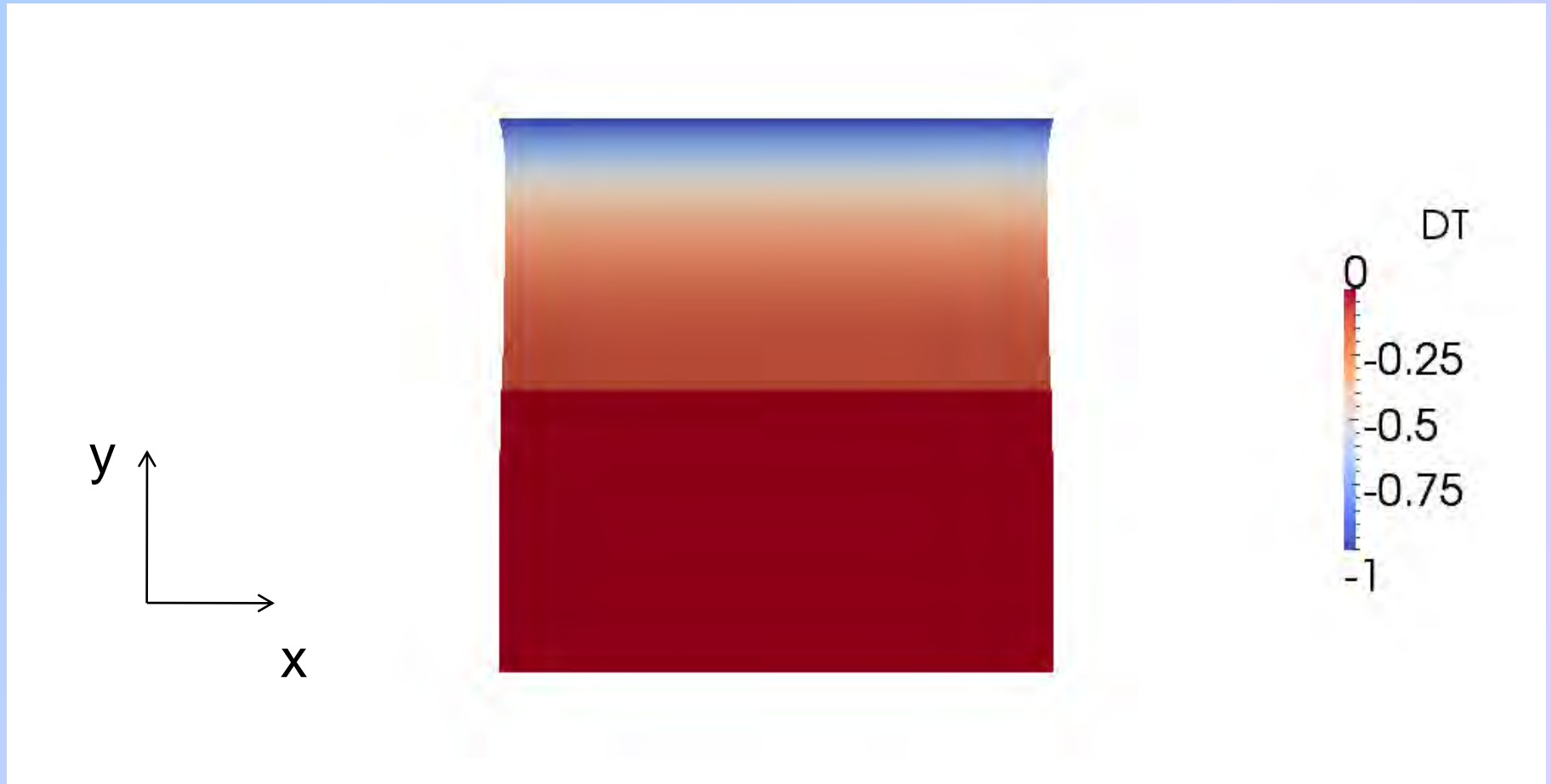
Example



k_{int} : constant



Example: thermally-induced debonding



Conclusions

A cohesive zone model has been proposed for the analysis of debonding phenomena at bimaterial interfaces. Future developments include:

- Thermal effects - different materials by properly choosing *ad-hoc* parameters (plaster/masonry)
- To investigate diffusion problems (permeability) in order to study the moisture effects/percolation