

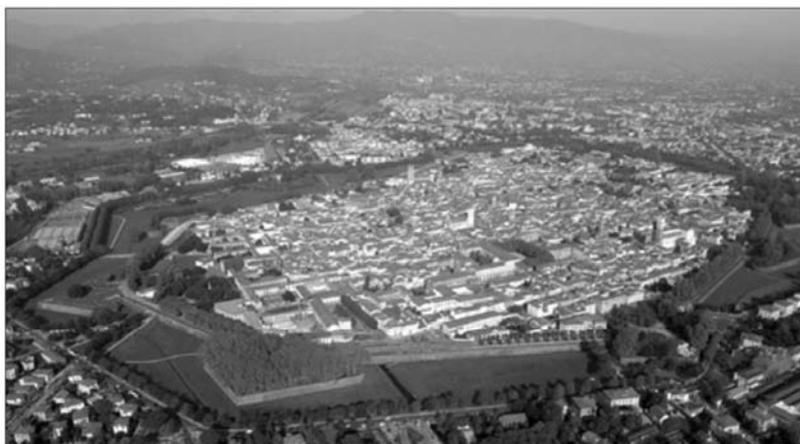


CITTA' DI LUCCA

Le ali alle tue idee



UNIONE EUROPEA
FONDO EUROPEO
DI SVILUPPO REGIONALE



REPUBBLICA ITALIANA

INTERVENTO DI RESTAURO DELL' EX CONVENTO DI SAN DOMENICO -
EX MANIFATTURA TABACCHI
Centro per attività di contrasto al disagio

PROGETTO STRUTTURALE
PROGETTO ESECUTIVO



RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI IMPRESE

UNIECO SOC. COOP.
via Meuccio Ruini, 10 - 42124 - Reggio Emilia (RE) (Mandataria)

IMPRESA COSTRUZIONI EDILI E STRADALI DR. ING. MICHELE BIANCHI & C. srl
via D. Chelini, 39 - 55100 - Lucca (LU) (Mandante)

R.A.M.A. srl
vl. Castracani, 600 - 55100 - Lucca (Mandante)

MARTINELLI IMPIANTI
via del Poggetto 439/h S. Anna - 55100 - Lucca (LU) (Mandante)

Ing. BRUNO PERSICHETTI
ORDINE INGEGNERI della Provincia di PISA
N° 1121 Sezione A
INGEGNERE CIVILE E AMBIENTALE
INDUSTRIALE, DELL'INFORMAZIONE

PROGETTO

COORDINAMENTO GENERALE
A.I.C.E. Consulting S.r.l. con sede in via G. Boccaccio, 20 - 56010 - Ghezzano (PI)
Pietro Carlo Pellegrini Architetto, via di Vicopelago, 3129 - Pozzuolo - 55100 Lucca (LU)

ARCHITETTONICO
Pietro Carlo Pellegrini Architetto, via di Vicopelago, 3129 - Pozzuolo - 55100 Lucca (LU)

STRUTTURALE, IMPIANTI MECCANICI, ELETTRICI, PREVENZIONE INCENDI
e COORDINAMENTO SICUREZZA FASE PROGETTAZIONE
A.I.C.E. Consulting S.r.l. con sede in via G. Boccaccio, 20 - 56010 - Ghezzano (PI)

CONSULENTE PROGETTO RESTAURO
Eugenio Vassallo Architetto, via Sandro Gallo, 54 - 30126 - Venezia Lido (VE)

CONSULENTE PROGETTO STRUTTURALE
Massimo Dringoli Ingegnere, Lungarno Simonelli, 10 - 56126 - Pisa (PI)

CONSULENTE PROGETTO ARCHITETTONICO
Alessandro Franco Architetto, RCF & P., c.so F.lli Cervi, 51 - 47838 - Riccione (RN)



Comune di Lucca
RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: Arch. Mauro Di Bugno

RAPPORTO TECNICO DI PROVE E RILIEVI

edificio

-

DATA : Settembre 2013
REV : 0

elaborato

PS.REL.01

FILE : 1010-PE-PS-RTP-R0.doc



0	Settembre 2013	Prima emissione	JCM	FR	BP
Revisione	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Validato

INDICE

1	SOMMARIO	5
2	INTRODUZIONE	5
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
4	RILIEVO DEL COMPLESSO MURARIO E DEGLI ORIZZONTAMENTI	6
4.1	Ispezione visiva delle murature	6
4.2	Rilievo strutturale degli orizzontamenti	7
	<i>Centro per attività di contrasto al disagio</i>	7
	<i>Centro di competenza per lo sviluppo e l'insediamento d'impresa ad alta innovazione tecnologica</i>	8
	<i>Centro di competenza di tecnologie, arti e spettacolo</i>	9
5	CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DELLE MURATURE.....	10
5.1	Indagini tramite propagazione di onde elastiche	10
5.2	Misura della resistenza meccanica delle malte	13
5.3	Caratteristiche meccaniche della muratura	15
	5.3.1 <i>Centro per attività di contrasto al disagio</i>	15
	5.3.2 <i>Centro di competenza per lo sviluppo e l'insediamento d'impresa ad alta innovazione tecnologica</i>	18
	5.3.3 <i>Centro di competenza di tecnologie, arti e spettacolo</i>	19
6	CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEGLI ELEMENTI IN LEGNO	22
6.1	Prove sclerometriche	22
6.2	Caratteristiche meccaniche del legno	23
7	PROVE SUI CALCESTRUZZI	24
7.1	Risultati di una precedente campagna d'indagini	24
	7.1.1 <i>Prelievo di carote di calcestruzzo</i>	24
	7.1.2 <i>Prove sclerometriche ed ultrasoniche combinate</i>	25
7.2	Metodo SonReb – prove sclerometriche ed ultrasoniche combinate	25
	7.2.1 <i>Prove per la determinazione dell'indice di rimbalzo</i>	25
	7.2.2 <i>Indagini ultrasoniche</i>	26
	7.2.3 <i>Metodo combinato (Elaborazioni SONREB)</i>	27

APPENDICI

1. Report fotografico;
2. Elaborazioni numeriche delle prove per determinare la velocità di propagazione delle onde soniche nelle murature;
3. Elaborazioni numeriche delle prove per la determinazione della resistenza a compressione delle malte;
4. Elaborazioni numeriche delle prove sclerometriche su elementi in legno;
5. Rapporto di prova N°197nc del 10/10/2010 del Laboratorio DELTA S.r.l. di Lucca relativo a prove effettuate sui calcestruzzi;
6. Elaborazioni SONREB delle prove sclerometriche e ultrasoniche combinate su elementi in c.a..

ALLEGATI

1. N.2 elaborati grafici di rilievo strutturale e localizzazione delle prove relativi al corpo di fabbrica “Centro per attività di contrasto al disagio”;
2. N.5 elaborati grafici di rilievo strutturale e localizzazione delle prove relativi al corpo di fabbrica “Centro di competenza per lo sviluppo e l'insediamento d'impresa ad alta innovazione tecnologica”;
3. N.5 elaborati grafici di rilievo strutturale e localizzazione delle prove relativi al corpo di fabbrica “Centro di competenza di tecnologie, arti e spettacolo”.

1 SOMMARIO

La presente relazione riporta i risultati delle indagini effettuate in alcune porzioni dei corpi di fabbrica dell'ex-convento di San Domenico - dell'ex Manifattura Tabacchi ubicato nel centro storico di Lucca. La relazione è mirata a fornire informazioni di carattere strutturale, ai fini della progettazione esecutiva dell'intervento di restauro di tali volumi da destinare rispettivamente a: Centro di competenza di tecnologie, arti e spettacolo, Centro per attività di contrasto al disagio e Centro di competenza per lo sviluppo e l'insediamento d'impresa ad alta innovazione tecnologica.

La relazione riferisce inoltre dei risultati delle prove sui materiali in sito, e dei saggi di ispezione prende anche in considerazione i risultati di una campagna di indagini precedentemente effettuata, ma limitatamente alle porzioni in cemento armato di uno dei corpi di fabbrica suddetti.

2 INTRODUZIONE

Quanto segue fa parte delle attività relative alla redazione del progetto esecutivo, ed in particolare, alla verifica di vulnerabilità sismica preprogetto delle porzioni di corpo di fabbrica del complesso ex-convento di San Domenico - ex Manifattura Tabacchi di Lucca interessate da intervento di restauro nell'ambito del PIUSS Lucca Dentro e, precisamente, nei tre volumi che saranno destinati a Centro di competenza di tecnologie, arti e spettacolo, Centro per attività di contrasto al disagio e Centro di competenza per lo sviluppo e l'insediamento d'impresa ad alta innovazione tecnologica.

L'esigenza della redazione di un piano di indagini e della successiva esecuzione, è sorta dalle carenze conoscitive riscontrate durante l'analisi degli elaborati del progetto definitivo posto a disposizione della scrivente. Sia la verifica di vulnerabilità, sia la scelta puntuale della tipologia degli interventi strutturali da progettare hanno necessitato di un insieme di informazioni, ottenibili unicamente attraverso l'attuazione di una campagna di indagini in sito.

Tale campagna è consistita nell'esecuzione di una serie di saggi e prove non distruttive (PnD), opportunamente distribuiti all'interno dei tre corpi di fabbrica suddetti. In particolare sono state svolte le seguenti prestazioni:

- rilievo dell'apparecchio murario e delle tipologie di murature mediante l'esecuzione di saggi con rimozione dell'intonaco;
- rilievo per il riconoscimento della tipologia degli orizzontamenti (solai e volte) e la determinazione della stratigrafia presente sugli stessi mediante l'esecuzione di saggi d'ispezione;
- rilievo del piano interrato non documentato negli elaborati messi a disposizione dalla Stazione Appaltante;
- rilievo di capriate in acciaio e legno e stima, in questo secondo caso, della possibile tipologia di essenza legnosa impiegata;
- prove per la determinazione della resistenza a compressione delle malte, mediante penetrometro PNT-G, in corrispondenza dei commenti di malta;
- misurazioni della velocità di propagazione di onde soniche in elementi murari, per la determinazione del modulo elastico dinamico, l'omogeneità e la "consistenza" del materiale;

- stima delle caratteristiche meccaniche in sito di elementi lignei delle capriate mediante prove con sclerometro meccanico per legno tipo Wood Pecker;

Inoltre, durante i primi sopralluoghi sono state identificate delle posizioni di prove effettuate su alcuni elementi in cemento armato da parte del Laboratorio DELTA S.r.l. di Lucca, su incarico del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – Provveditorato Interregionale per le OO.PP. Toscana Umbria – Firenze. I risultati di tali prove sono stati messi a disposizione della scrivente, che a completamento delle stesse, ha ritenuto opportuno effettuare le seguenti:

- esecuzione di prove di rimbalzo, a mezzo di sclerometro tarato per calcestruzzo, secondo UNI 9189;
- misurazione della velocità di propagazione delle onde ultrasoniche in trasparenza, in elementi in c.a. secondo le norme UNI 9524;
- elaborazione dei dati ricavati dalle prove di rimbalzo e ultrasoniche con il metodo combinato (SONREB) per l'individuazione del modulo di elasticità dinamico e la classe di appartenenza dei calcestruzzi indagati;

E infine:

- la presente Relazione Tecnica conclusiva, sottoscritta da ingegnere abilitato.

Le operazioni in sito sono state effettuate da personale esperto e qualificato, durante l'ultima settimana del mese di luglio e durante l'ultima settimana del mese di settembre u.s..

3 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Si elencano di seguito i principali riferimenti normativi adottati per lo svolgimento della campagna effettuata ed, in particolare, per la redazione del presente documento.

- **D.M. LL.PP. 14 gennaio 2008, Norme tecniche per le costruzioni (richiamate come NTC08)**
- **Circolare Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n. 617 del 2 febbraio 2009, Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008**

4 **RILIEVO DEL COMPLESSO MURARIO E DEGLI ORIZZONTAMENTI**

4.1 **Ispezione visiva delle murature**

L'individuazione delle tipologie di murature presenti nei corpi di fabbrica oggetto di intervento è stata effettuata attraverso l'esecuzione di una serie di saggi d'ispezione mediante demolizione dell'intonaco.

La documentazione fotografica di quanto riscontrato, nonché la distribuzione planimetrica di ogni tipo di muratura, viene consegnata negli elaborati grafici di rilievo strutturale e localizzazione delle prove, suddivisi per ogni corpo di fabbrica, allegati alla presente relazione.

Sostanzialmente, le murature riscontrate risultano delle seguenti tipologie:

- a) Murature di mattoni pieni di laterizio a più teste stilati con malta di calce o malta

bastarda, di fattura diversa a seconda del periodo di esecuzione e dell'importanza dal punto di vista statico. In particolare, la muratura impiegata per la costituzione di pilastri isolati e non, appare sistematicamente di qualità sensibilmente superiore rispetto a quella che costituisce i maschi murari. In corrispondenza del fabbricato che ospiterà il Centro di competenza di tecnologie, arti e spettacolo è stata effettuata una distinzione grafica negli elaborati grafici tra le murature presumibilmente appartenenti al nucleo originario del convento di San Domenico attorno al chiostro, e le altre murature di questo tipo riscontrate nel resto dell'edificio.

- b) Murature di pietra con listature di mattoni ogni 160 cm circa, impiegate nelle zone di ampliamento attorno al nucleo originario del corpo di fabbrica suddetto.
- c) Murature di pietrame misto a mattoni disordinata confinata da murature di mattoni pieni (generalmente in corrispondenza delle aperture o di pilastri, dove presenti).

Sono state individuate numerose superfettazioni, manomissioni e riparazioni visibili anche lungo le facciate, dovute probabilmente a crolli, demolizioni e riadattamenti di varia natura, tra cui non si escludono gli effetti degli eventi bellici occorsi in passato.

Sempre nel volume destinato a Centro di competenza di tecnologie, arti e spettacolo è stato individuato un piano interrato che non era stato incluso negli elaborati consegnati dall'Ente Appaltante. In tali condizioni si è proceduto al rilievo ex novo dello stesso ed incluso negli elaborati grafici allegati.

4.2 Rilievo strutturale degli orizzontamenti

In modo analogo a quanto effettuato con le murature, anche sugli orizzontamenti sono stati eseguiti dei saggi a campione per la definizione delle principali tipologie, delle corrispondenti stratigrafie presenti e degli spessori strutturali. Il tutto finalizzato alla costituzione di modelli numerici o schemi di calcolo in grado di riprodurre il comportamento degli orizzontamenti stessi sotto l'azione dei carichi prescritti dalla normativa vigente, nell'ambito del progetto esecutivo strutturale.

Sono state riscontrate numerose tipologie di orizzontamenti, sia di solai piani, sia di orizzontamenti voltati, oltre alle capriate che sostengono le coperture e la struttura di sostegno della chiostra dell'antico convento. La distribuzione planimetrica ed i dettagli costruttivi degli stessi, vengono consegnati, anche in questo caso, negli elaborati grafici di rilievo strutturale e localizzazione delle prove, suddivisi per ogni porzione in aggregato, allegati alla presente relazione.

Centro per attività di contrasto al disagio

In questo volume sono state individuate n.7 tipologie di solai:

Piano primo:

- Solai S1 costituiti da profilati metallici tipo NP e laterizi/voltine in mattoni ad interasse 80 cm, poggianti su travi metalliche NP 400, alcuni dei quali rinforzati con travi saldate all'ala del profilo NP costituite da HEB 100 inferiore e diagonali in tubolari quadrati 50x50 mm;
- Solaio S2 in latero-cemento con travetti in c.a.p. ad interasse cm 35 e pignatte, soletta in cls alleggerito cm. 4 armata con rete elettrosaldata in acciaio ad

- aderenza migliorata diam mm 5, maglia 10x10 cm; poggiate sul lato ovest su un bi-trave IPE 330, su travi in c.a. (16x41) sul lato Est;
- Solaio S3 con volterrane di laterizi forati travi NP, int. 100 cm, poggianti su travi metalliche NP 400.
- Piano secondo:
- Solaio S4 acciaio-laterizio a volterrane con profilati IPE 140 interasse cm 80, pignatte di alleggerimento, soletta cm. 5 armata con ferri lisci diam mm 5 maglia 30x30 cm, poggianti su travi in acciaio NP 400;
 - Solaio S5 latero-cemento travetti interasse cm 35, poggianti su travi in c.a. 13x41;
 - Solaio S6 acciaio-laterizio con profilato NP interasse cm 100, poggianti su travi NP 400;
- Piano terzo:
- Oltre a riscontrarsi la stessa distribuzione planimetrica dei solai S1 e S3 del piano primo, si trovano solai S7 in latero-cemento travetti interasse cm 35, poggianti su travi in c.a. 16x41 cm.
 - La copertura è in lamiera sostenuta da capriate metalliche.

Centro di competenza per lo sviluppo e l'insediamento d'impresa ad alta innovazione tecnologica

In questa porzione di fabbricato sono state individuate n.8 tipologie di solai:

Piano primo:

- Solaio S1 travetti cap ad interasse cm 50, pignatte con sovrastante soletta cm 4 debolmente armata, caldaia cm 6;
- Solaio S2 acciaio-laterizio con soletta sp. cm 4 armata con ferri diam. 8 mm maglia 25x25 cm. Profilati in acciaio dim.: ala mm 70 H mm 220;
- Solaio S3 travetti cap ad interasse cm 50, pignatte spess. cm 18, caldaia cm 5 e pavimentazione in mattonelle di Klinker cm 1, spessore complessivo cm 24;
- Solaio S4 in acciaio-laterizio con profilati in acciaio NP 220 interasse cm 100, pignatte di alleggerimento disposte a leggera volta, caldaia fino a sfioro ala superiore profilato, soletta non armata cm 7;

Piano secondo:

- Solaio S5 in acciaio-laterizio con profilati in acciaio dim. ala 55 mm H 180 mm interasse cm 85, volterrane di alleggerimento con sovrastante materiale di alleggerimento incoerente e caldaia e pavimentazione di 5 cm di spessore;
- Oltre al solaio S2 nella stessa posizione planimetrica, si ha sulla stessa ala dell'edificio un solaio S6 Solaio acciaio-laterizio, profilati in acciaio interasse cm 55, dim. ala 65,5 mm H 220 mm voltine laterizio forato, soletta spess. cm 4 armata con ferri aderenza migliorata diam. 8 mm maglia 25x25 cm;
- Solaio S7 (nel torrino) in acciaio-laterizio con profilati in acciaio NP220, interasse 70 cm, voltine di mattoni pieni disposti di piatto con sovrastante materiale di alleggerimento incoerente e caldaia e pavimentazione di 13 cm di spessore;

Piano terzo (torrino):

- Oltre al solaio S7 nella stessa posizione planimetrica, si ha in copertura un solaio S8 simile ma con profilati NP180 220 ad interasse 100 cm e voltine di mattoni;

Le coperture sono sostenute da capriate in legno, le cui dimensioni e forma sono riportati negli elaborati grafici allegati, arcareci 17x15 cm e travicelli 8x8 cm.

Centro di competenza di tecnologie, arti e spettacolo

Questa porzione di fabbricato contiene il nucleo originale corrispondente, come detto, all'ex-convento. Per tale motivo, gran parte degli orizzontamenti è costituita da volte di varia tipologia, per la maggior parte a sostegno del primo piano, dato che nel piano superiore, la loro presenza è limitata a due lati dell'antico chiostro.

Sono state individuate n.12 tipologie di volte, che tuttavia, al di là degli spessori strutturali misurati, della stratigrafia riscontrata e le dimensioni planimetriche, riportati negli elaborati grafici ai quali si rimanda, possono essere riconducibili alle seguenti:

- Volte a crociera nel piano interrato, su 3 dei 4 lati del chiostro e sul grande ambiente posto all'estremità Est del fabbricato;
- Volte a botte con unghia sul lato esterno, sul quarto lato del chiostro;
- Volte a padiglione lunettate, nella maggior parte dei locali che circondano il chiostro nel piano terra;
- Volte a botte nei corridoi laterali d'accesso al chiostro.

Per quanto concerne i solai piani, sono state individuate n.13 tipologie nelle restanti zone di ampliamento ed in alcune porzioni di fabbricato in cui le volte o sono state demolite o sono state soggette a crolli:

Piano primo:

- Solaio S1 costituito da una soletta in c.a. spess. 11 cm, armata con doppia doppia maglia di ferri del diam. 8 mm/10 cm in una direzione e 6 mm/30 cm in direzione trasversale, sostenuta da travi IPE 330 sormontate da nervature in c.a. di 14 cm di altezza;
- Solaio S2 in acciaio e laterizio con profili NP 240 ad interasse 70 cm e voltine in mattoni di laterizio, riempimento con materiale incoerente, caldaia e pavimentazione dello spessore complessivo di 8,5 cm;
- Solaio S3 in acciaio e laterizio costituito da travi IPE 300 disposte ad interasse di 90 cm, tavole di laterizio sp. 5,5 cm, soletta in cls. di 2 cm e con sovrapposti: un riempimento leggero in leca, una soletta in cls., il sottofondo e la pavimentazione in graniglia per uno spessore complessivo di 19 cm;
- Solaio S4 in acciaio e laterizio costituito da profili a doppio T H 220 mm e b 65,5 mm, interasse 75 cm, volterrane di laterizio forato, riempimento con materiale incoerente e soletta armata, per uno spessore complessivo di 26 cm, oltre ad un secondo massetto armato e alla pavimentazione;
- Solaio S5 in latero-cemento con travetti in cap posti ad interasse di 50 cm e pignatte di laterizio di 12 cm di altezza e soletta di 4 cm. Questo solaio è stato riscontrato in un campo sovrastante a una volta del chiostro dove è stato rimosso lo strato di riempimento;
- Il solaio denominato S6 non è stato rilevato in quanto prevista la demolizione in progetto;
- Solaio S7 in latero-cemento con travetti in cap posti ad interasse di 50 cm e pignatte di laterizio di 16 cm di altezza e soletta di 4 cm;
- Solaio S8 in latero-cemento con travetti in cap posti ad interasse di 50 cm e pignatte di laterizio di 16 cm di altezza e soletta di 5 cm;
- Solaio S9 costituito da una soletta in c.a. di 5 cm di spessore armata con maglia di ferri lisci diam. 8/27 cm e nervature rettangolari in c.a. b 26 cm e H 40 cm, poste ad interasse di 176 cm;

- Solaio tipo 11 in acciaio e laterizio costituito da profili a doppio T H 220 mm e b 65,5 mm, interasse 80 cm, voltine di mattoni di laterizio disposti di coltello, con sovrastante strato di riempimento con materiale incoerente, sottofondo e pavimentazione, per un'altezza complessiva di 32,5 cm;
 - Solaio S13 in acciaio e laterizio costituito da profili a doppio T H 120 mm e b 45,5 mm, interasse 88 cm, appoggiate su travi principali costituite da profili NP 50, volterrane di laterizio forato, riempimento con materiale incoerente e soletta, massetto e pavimentazione, per uno spessore, profili principali esclusi, di 26 cm.
- I solai identificati come S10 e S11 non sono stati rilevati a causa dell'inaccessibilità nei locali corrispondenti.

Oltre a questi orizzontamenti, sono state identificate le capriate che sostengono le coperture. Esse sono riconducibili a n.4 tipologie:

- Capriata tipo A in legno, probabilmente di rovere, con sostegni intermedi di due pilastri simmetrici in muratura di mattoni;
- Capriata tipo B metallica con contraffissi in ferro tondo e puntoni in legno;
- Capriata tipo C in acciaio a struttura reticolare semplice;
- Capriata tipo D in legno di rovere e castagno a falda unica.

Per dimensioni e dettagli si rimanda agli elaborati grafici consegnati in allegato.

Infine, è stato effettuato il rilievo strutturale dell'intera struttura in acciaio di copertura del chiostro. Ciò è stato effettuato con apposita strumentazione, compresi un misuratore di spessori ad ultrasuoni e calibro a cavaletto dendometrico.

5 CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DELLE MURATURE

5.1 Indagini tramite propagazione di onde elastiche

La prova consiste nel misurare il tempo di percorrenza, tra due superfici contrapposte, di un'onda elastica di compressione (onda di tipo P) provocata dalla percussione di un martello strumentato con cella di carico su una delle due superfici. Come ricevitore è stato utilizzato un accelerometro prefissato alle pareti; la lettura dei tempi è stata eseguita utilizzando un analizzatore di spettro settato nel dominio del tempo, collegando il canale 0 alla cella di carico del martello ed il canale 1 all'accelerometro.

Poiché la velocità dell'impulso sonico è tanto più elevata quanto più alta è la compattezza del materiale, con questa tecnica è possibile individuare la presenza di cavità, distacchi, lesioni ed in genere di fenomeni che dipendono dalle variazioni di consistenza del materiale esaminato.

È possibile inoltre stimare il valore del modulo elastico dinamico mediante la nota relazione, valida per un mezzo indefinito, omogeneo ed isotropicamente elastico:

$$E = \frac{(1 + \mu) \cdot (1 - 2 \cdot \mu)}{(1 - \mu)} \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot V^2 \quad (1)$$

In cui:

- V: velocità dell'onda sonica [m/s];

- E: modulo elastico dinamico [MPa];
- μ : coefficiente di Poisson dinamico;
- g: accelerazione di gravità ($9,81 \text{ m/s}^2$);
- γ : peso volumico del materiale

Le costanti elastiche E e μ vengono definite “dinamiche” per distinguerle dalla condizione statica tipica delle prove eseguite in laboratorio in quanto, dal momento che le tensioni indotte nel mezzo dalle vibrazioni sono di livello molto basso e di breve durata, le misurazioni effettuate tramite il processo di vibrazione devono essere riferite alle condizioni in cui la prova ha luogo.

Si è operato con il seguente set d'apparecchiature:

- martello strumentato PCB 086D20;
- accelerometri PCB 393C;
- sistema di acquisizione SCXI - National Instruments costituito da: modulo accelerometrico ICP (Integrated Circuit Piezoelectric) SCXI-1531, DAQCard 6062-E (PCMCIA), PC portatile con microprocessore AMD K6 550 MHz e 120 MByte di memoria RAM e software LabVIEW ver. 6.1 – NI.

Sono state eseguite complessivamente:

- n. 5 misurazioni in corrispondenza di alcuni maschi murari e su pilastri nella porzione di edificio che sarà destinata a Centro per attività di contrasto al disagio;
- n. 5 misurazioni in corrispondenza di alcuni maschi murari e su un pilastro nella porzione di edificio che sarà destinata a Centro di competenza per lo sviluppo e l'insediamento d'impresa;
- n.11 misurazioni in corrispondenza di alcuni maschi murari e su un pilastro nella porzione di edificio che sarà destinata a Centro di competenza di tecnologie, arti e spettacolo.

Le posizioni delle prove vengono riportate negli elaborati grafici consegnati in allegato alla presente relazione. I risultati ottenuti nonché le elaborazioni per il calcolo del modulo elastico dinamico, vengono invece riportati in APPENDICE 2 e riassunti nella seguente tabella:

Tab. 1. – Valori della velocità di propagazione delle onde soniche e del modulo elastico dinamico

Centro per attività di contrasto al disagio			
N. prova	Vmedia [m/s]	Ed [MPa]	Posizione
1	1033,0	1631,5	Piano terra. muro facciata Est
2	1000,0	1529,1	Piano primo. muro facciata Est
3	1160,7	2060,0	Piano secondo. Pilastro facciata Est
4	1228,6	2307,9	Piano terzo. Pilastro facciata Ovest
5	1195,7	2185,9	Piano terzo. Pilastro facciata Est
media:	1123,6	1942,9	Muratura di mattoni pieni Coefficiente di Poisson dinamico: 0,25 W = 18,0 kN/m ³
Dev. std.	101,3	344,3	
Dev. Std. %	9,0	17,7	
Centro di competenza per lo sviluppo e l'insediamento d'impresa			

N. prova	Vmedia [m/s]	Ed [MPa]	Posizione
1	985,6	1397,6	Piano terra. Muro facciata Ovest
2	1174,2	1879,4	Piano terra. Pilastro centrale in mattoni
3	1007,4	1460,0	Piano terra. Muro facciata Sud
4	951,4	1302,3	Piano primo. Muro facciata Nord
5	890,1	1139,8	Piano primo. Muro facciata Est
media:	1001,7	1435,8	Muratura in pietrame misto Coefficiente di Poisson dinamico: 0,3 W = 19,0 kN/m ³
Dev. std.	106,1	275,8	
Dev. Std. %	10,6	19,2	
Centro di competenza di tecnologie, arti e spettacolo			
N. prova	Vmedia [m/s]	Ed [MPa]	Posizione
1	1121,6	2021,9	Piano terra. Setto zona ingresso a Nord
2	1010,1	1639,8	Piano terra. Setto locale voltato zona ingresso
3	774,7	964,5	Piano terra. Muro corridoio a Sud del chiostro
4	1214,3	2369,7	Piano terra. Setto zona Sud
5	1011,9	1645,6	Piano primo. Muro Nord del chiostro
6	945,3	1436,2	Piano primo. Muro Est del chiostro
7	1205,4	2335,0	Piano primo. Pilastro zona Sud-Est
8	917,1	1351,9	Piano primo. Muro facciata Est
9	998,4	1601,9	Piano primo. Muro facciata Ovest
10	1052,6	1780,8	Piano secondo. Muro chiostro Nord
11	997,0	1597,6	Piano secondo. Muro facciata Nord
media:	1022,6	1704,1	Muratura in mattoni Coefficiente di Poisson dinamico: 0,22 W = 18,0 kN/m ³
Dev. std.	126,9	414,8	
Dev. Std. %	12,4	24,3	

Le velocità ottenute sono basse e la media si attesta attorno a 1000 m/s. Si sono ottenuti valori relativamente più alti in corrispondenza delle murature di pilastri di mattoni, a testimonianza dell'impiego di una tecnica costruttiva migliore che nel caso dei maschi murari

Stesse considerazioni possono essere fatte nei confronti del modulo elastico dinamico. Tuttavia, i valori riscontrati sono in linea con i valori del modulo elastico che si riscontrano, sia in letteratura tecnica (compresa la normativa in vigore), sia in prove effettuate dallo scrivente su murature delle stesse caratteristiche appartenenti ad edifici coevi a quello in oggetto.

5.2 Misura della resistenza meccanica delle malte

Questa prova permette la valutazione in sito della capacità resistente delle malte con inerte costituito da sabbia mediante una tecnica basata sulla misura dell'energia spesa per l'esecuzione di un foro cieco in un giunto della muratura.

La strumentazione consiste in un trapano portatile connesso ad una centralina a 12 V capace di misurare l'energia dissipata per eseguire una piccola cavità di assegnate dimensioni nella malta. La centralina opera una taratura automatica prima di ogni prova e dispone di avvisatore acustico per segnalare l'inizio e la fine del test. Il penetrometro è tarato per punte di diametro pari a 4 mm e profondità della cava di 5 mm. La risposta del penetrometro è lineare nel caso di malte a bassa resistenza ($R < 4$ MPa) e pressoché indipendente dal tipo di granulometria.

Sono state espletate complessivamente (generalmente nelle zone dove sono stati effettuati i saggi con rimozione dell'intonaco):

- n. 5 prove in corrispondenza della porzione di edificio che sarà destinata a Centro per attività di contrasto al disagio;
- n. 9 prove in corrispondenza della porzione di edificio che sarà destinata a Centro di competenza per lo sviluppo e l'insediamento d'impresa;
- n.15 prove in corrispondenza della porzione di edificio che sarà destinata a Centro di competenza di tecnologie, arti e spettacolo.

I risultati in MPa sono riassunti nella sottostante tabella; le elaborazioni numeriche corrispondenti sono consegnati in APPENDICE 3.

Tab. 2. – Resistenza meccanica delle malte

Centro per attività di contrasto al disagio			
PNT-G n.	L_{p-medio}	Resistenza [MPa]	Posizione
1	482,83	3,71	saggio 3 primo piano
2	494,20	3,80	finestra lato Ovest 1° piano
3	415,45	3,20	saggio 1 secondo piano
4	423,15	3,26	saggio 2 secondo piano
5	371,70	2,86	lesena lato Est piano terzo
Media complessiva		3,39	
dev. St.		0,28	
% dev. St.		8,37	
Centro di competenza per lo sviluppo e l'insediamento d'impresa			
PNT-G n.	L_{p-medio}	Resistenza [MPa]	Posizione
1	464,93	3,58	setto centrale primo piano
5	447,13	3,44	finestra lato Ovest 2° piano
6	439,89	3,38	finestra lato Est 2° piano
8	448,50	3,45	saggio 4 pilastro piano terra

Media complessiva		3,44	Media delle prove effettuate sulla muratura in mattoni
dev. St.		0,01	
% dev. St.		0,22	
2	259,84	2,00	saggio 3 muro Ovest piano primo
3	315,83	2,43	saggio 2 muro Ovest piano primo
4	286,86	2,21	saggio 1 muro Est piano primo
7	254,24	1,96	muro Nord secondo piano
9	278,25	2,14	esterno muro Sud piano terra
Media complessiva		2,12	Media delle prove effettuate sulla muratura in pietra
dev. St.		0,11	
% dev. St.		5,02	
Centro di competenza di tecnologie, arti e spettacolo			
PNT-G n.	L_p-medio	Resistenza [MPa]	Posizione
1	379,27	2,92	saggio 8 piano terra
2	390,42	3,00	saggio 6 piano terra
6	468,48	3,60	saggio 1 piano primo
7	457,80	3,52	saggio 2 piano primo
8	345,84	2,66	saggio 3 piano primo
9	463,25	3,56	saggio 5 piano primo
14	421,82	3,24	saggio 9 piano primo
Media complessiva		3,27	Media delle prove effettuate sulla muratura in mattoni di maschi murari
dev. St.		0,31	
% dev. St.		9,60	
4	477,20	3,67	saggio 7 piano terra su pilastro
5	577,07	4,44	setto centrale zona Sud piano terra
10	591,60	4,55	saggio 4 piano primo su pilastro
12	310,52	2,39	pilastro angolo S-E chiostro piano primo
13	426,33	3,28	pilastro lato Nord chiostro piano primo
15	422,64	3,25	pilastro lato Nord chiostro piano secondo
Media complessiva		3,69	Media delle prove effettuate sulla muratura in mattoni su pilastri
dev. St.		0,61	
% dev. St.		16,44	
3	475,87	3,66	saggio 7 piano terra
11	465,40	3,58	saggio 4 piano primo
Media complessiva		3,62	Media delle prove effettuate sulla muratura in pietra listata

dev. St.	0,06	
% dev. St.	1,57	

I valori medi calcolati risultano dello stesso ordine di grandezza dei valori di resistenza riscontrati dalla scrivente in prove simili effettuate sugli stessi materiali in edifici coevi a quelli oggetto di studio e anche con valori riscontrabili in letteratura tecnica per la resistenza a compressione di malte di calce e sabbia (generalmente di resistenza inferiore a 4 MPa).

I valori più alti sono stati individuati in corrispondenza delle malte delle murature di pilastri isolati, conformemente a quanto riscontrato anche tramite le prove con le onde soniche. In genere, i valori medi suddetti risultano leggermente superiori ai valori medi di resistenza a compressione delle murature indicati nella tabella C8A.2.1 della Circolare C.S.LL.PP. 2 febbraio 2009, n.617. Com'è noto, l'elemento debole di una tipica muratura, sia essa in mattoni o in materiale lapideo, risulta la malta. Per tale motivo, tenuto conto dei risultati, ai fini delle verifiche strutturali verranno impiegati i valori di cui al paragrafo seguente (approccio a favore della sicurezza).

5.3 Caratteristiche meccaniche della muratura

In virtù quanto detto nei paragrafi precedenti, alle murature in oggetto possono essere attribuite le seguenti caratteristiche meccaniche, dedotte dal confronto tra le prove sperimentali effettuate ed i valori suggeriti dalla Normativa vigente (tabelle C8A.2.1 e C8A.2.2 della Circolare C.S.LL.PP. 2 febbraio 2009, n.617):

5.3.1 Centro per attività di contrasto al disagio

5.3.1.1 Muratura in mattoni pieni (pareti esterne)

I muri portanti esterni sono realizzati in mattoni pieni con malta di calce idraulica.

Utilizzando le tabelle della circolare sopra citate si possono proporre i seguenti valori:

Tab. 3. – Valori di riferimento dei parametri meccanici (minimi e massimi) e peso specifico

Tipologia di muratura	f_m (MPa)	τ_o (MPa)	E [MPa]	G [MPa]	W [kN/m ³]
	Min-max	Min-max	Min-max	Min-max	
<i>Muratura in mattoni pieni e malta di calce</i>	2,40/4,00	0,06/0,09	1200/1800	400/600	18

Tenuto conto dei risultati delle prove sperimentali di cui ai paragrafi precedenti, quanto detto a proposito dell'approccio a favore della sicurezza e ritenendo di aver raggiunto il livello di conoscenza LC2, sono stati presi i valori medi degli intervalli:

Tab. 4. – Valori assegnati alla muratura in esame

Tipologia di muratura	f_m (MPa)	τ_o (MPa)	E [MPa]	G [MPa]	W [kN/m ³]
<i>Muratura in mattoni pieni e malta di calce</i>	3,2	0.075	1500	500	18

5.3.1.2 Muratura in pietrame con mattoni pieni in corrispondenza degli angoli e delle fasce sotto e sopra-finestra (inclusioni sul paramento del prospetto Ovest)

Sul prospetto Ovest, sono visibili “inclusioni” di pietrame all’interno della muratura in mattoni pieni. E’ come se una porzione del paramento fosse stata per qualche ragione distrutta e successivamente si sia provveduto a ripararla, richiudendo le brecce con pietrame (lo stesso utilizzato nell’edificio costruito in adiacenza). Questa porzione di muratura risulta di caratteristiche meccaniche inferiori rispetto all’originaria essendo realizzata in muratura in pietrame disordinato, “regolarizzato” però negli angoli e in corrispondenza delle aperture con porzioni più o meno estese di mattoni pieni.

La norma consente di tener conto delle caratteristiche “migliori” per la presenza della muratura in mattoni pieni applicando ai valori riportati in tabella C8A.2.1 dei coefficienti migliorativi (suggeriti dalla Tab. C8A.2.2.):

Nel caso in esame si è ritenuto opportuno applicare il solo coefficiente correttivo che tiene conto del miglioramento alla connessione negli spigoli:

$$c_1 = 1.5 \quad \text{connessione trasversale}$$

ne consegue che partendo dai seguenti valori:

$$f_m = 1.40 \text{ MPa} \quad \text{resistenza media a compressione della muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari) (Circ. 617, Tab. C8A.2.1)}$$

$$\tau_o = 0.026 \text{ MPa} \quad \text{resistenza media a taglio della muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari) (Circ. 617, Tab. C8A.2.1)}$$

$$E = 870 \text{ MPa} \quad \text{valore medio del modulo di elasticità normale (Circ. 617, Tab. C8A.2.1)}$$

$$G = 290 \text{ MPa} \quad \text{valore medio del modulo di elasticità tangenziale (Circ. 617, Tab. C8A.2.1)}$$

$$f_{km} = f_m \times c_1 = 2.10 \text{ MPa}$$

$$f_{v0} = \tau_o \times c_1 = 0.04 \text{ MPa}$$

$$E_m = E \times c_1 = 1305 \text{ MPa}$$

$$G_m = G \times c_1 = 435 \text{ MPa}$$

Tab. 5. – Valori assegnati alla muratura in esame

Tipologia di muratura	f_m (MPa)	τ_o (MPa)	E [MPa]	G [MPa]	W [kN/m ³]
<i>Muratura in pietrame disordinata rinforzata negli spigoli con muratura di mattoni pieni</i>	2,10	0,04	1305	435	19

5.3.1.3 Muratura dei pilastri al piano terra placcati

I pilastri al piano terra sono realizzati in mattoni pieni con malta di calce idraulica.

Su 11 dei 14 presenti al piano è stata applicata una camicia in c.a. dello spessore di 15 cm.

Secondo il livello di conoscenza LC2 raggiunto avremmo gli stessi valori contenuti nella tabella soprastante. In generale la muratura degli elementi puntuali è però una muratura “migliore” (malta buona e maggiore attenzione alla connessione trasversale dei blocchi)

La norma consente di tener conto delle caratteristiche “migliori” applicando ai valori riportati in tabella C8A.2.1 dei coefficienti migliorativi (suggeriti dalla Tab. C8A.2.2.):

Nel caso in esame si è ritenuto opportuno applicare i seguenti coefficienti correttivi:

$c_1=1.5$	malta buona
$c_2=1.3$	connessione trasversale
$c_3=1.5$	presenza di “camicia” in c.a. (intonaco armato)
ne consegue:	

$$f_{km} = f_m \times c_1 \times c_2 \times c_3 = 9.36 \text{ MPa}$$

$$f_{v0} = \tau_0 \times c_1 \times c_2 \times c_3 = 0.22 \text{ MPa}$$

$$E_m = E \times c_1 \times c_2 \times c_3 = 4388 \text{ MPa}$$

$$G_m = G \times c_1 \times c_2 \times c_3 = 1463 \text{ MPa}$$

Tab. 6. – Valori assegnati alla muratura in esame

Tipologia di muratura	f_m (MPa)	τ_0 (MPa)	E [MPa]	G [MPa]	W [kN/m ³]
<i>Muratura in mattoni pieni e malta di calce, con malta buona, buone connessioni trasversali e intonaco armato</i>	9,36	0,22	4388	1463	18

5.3.1.4 Muratura dei pilastri al piano terra non placcati

I pilastri al piano terra sono realizzati in mattoni pieni con malta di calce idraulica.

Tre dei quattordici pilastri presenti conservano ancora la sezione originaria (65x65 cm), la maggior parte di essi invece è stata “placcata” con una camicia in c.a. dello spessore di 15 cm.

Anche in questo caso i valori contenuti nella tabella C8A.2.1 sono stati “migliorati” applicando dei coefficienti migliorativi (suggeriti dalla Tab. C8A.2.2.):

Nel caso in esame si è ritenuto opportuno applicare i seguenti coefficienti correttivi:

$c_1=1.5$	malta buona
$c_2=1.3$	connessione trasversale
ne consegue:	

$$f_{km} = f_m \times c_1 \times c_2 = 6.24 \text{ MPa}$$

$$f_{v0} = \tau_0 \times c_1 \times c_2 = 0.15 \text{ MPa}$$

$$E_m = E \times c_1 \times c_2 = 2925 \text{ MPa}$$

$$G_m = G \times c_1 \times c_2 \times x = 975 \text{ MPa}$$

Tab. 7. – Valori assegnati alla muratura in esame

Tipologia di muratura	f_m (MPa)	τ_0 (MPa)	E [MPa]	G [MPa]	W [kN/m ³]
Muratura in mattoni pieni e malta di calce, con malta buona, buone connessioni trasversali	6,24	0,15	2925	975	18

5.3.2 Centro di competenza per lo sviluppo e l'insediamento d'impresa ad alta innovazione tecnologica

5.3.2.1 Muratura in pietrame con paramento interno in mattoni pieni (muri perimetrali)

Tutti i muri perimetrali risultano in muratura di pietrame disordinata con inclusioni di mattoni pieni in laterizio, utilizzati anche per gli archetti al di sopra delle aperture.

Singolare appare l'utilizzo di un paramento interno in mattoni pieni, ammorsato con la muratura in pietrame; questa presenza ne migliora le caratteristiche meccaniche.

La norma consente di tener conto delle caratteristiche "migliori" per la presenza della muratura in mattoni pieni applicando ai valori riportati in tabella C8A.2.1 dei coefficienti migliorativi (suggeriti dalla Tab. C8A.2.2.):

Nel caso in esame si è ritenuto opportuno applicare il solo coefficiente correttivo che tiene conto del miglioramento alla connessione negli spigoli:

$$c_1 = 1.5 \quad \text{connessione trasversale}$$

ne consegue che partendo dai seguenti valori:

$$f_m = 1.40 \text{ MPa} \quad \text{resistenza media a compressione della muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari) (Circ. 617, Tab. C8A.2.1)}$$

$$\tau_0 = 0.026 \text{ MPa} \quad \text{resistenza media a taglio della muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari) (Circ. 617, Tab. C8A.2.1)}$$

$$E = 870 \text{ MPa} \quad \text{valore medio del modulo di elasticità normale (Circ. 617, Tab. C8A.2.1)}$$

$$G = 290 \text{ MPa} \quad \text{valore medio del modulo di elasticità tangenziale (Circ. 617, Tab. C8A.2.1)}$$

$$f_{km} = f_m \times c_1 = 2.10 \text{ MPa}$$

$$f_{v0} = \tau_0 \times c_1 = 0.04 \text{ MPa}$$

$$E_m = E \times c_1 = 1305 \text{ MPa}$$

$$G_m = G \times c_1 = 435 \text{ MPa}$$

Tab. 8. – Valori assegnati alla muratura in esame

Tipologia di muratura	f_m (MPa)	τ_o (MPa)	E [MPa]	G [MPa]	W [kN/m ³]
<i>Muratura in pietrame disordinata rinforzata negli spigoli con muratura di mattoni pieni</i>	2,10	0,04	1305	435	19

5.3.2.2 Muratura di mattoni pieni

I pilastri centrali dell'ala Nord e alcuni setti interni in prossimità delle scale sono realizzati in mattoni pieni a due teste murati con malta di calce idraulica.

Utilizzando le tabelle della circolare sopra citate si possono proporre i seguenti valori:

Tab. 9. – Valori di riferimento dei parametri meccanici (minimi e massimi) e peso specifico

Tipologia di muratura	f_m (MPa)	τ_o (MPa)	E [MPa]	G [MPa]	W [kN/m ³]
	Min-max	Min-max	Min-max	Min-max	
<i>Muratura in mattoni pieni e malta di calce</i>	2,40/4,00	0,06/0,09	1200/1800	400/600	18

Tenuto conto dei risultati delle prove sperimentali di cui ai paragrafi precedenti, quanto detto a proposito dell'approccio a favore della sicurezza e ritenendo di aver raggiunto il livello di conoscenza LC2, sono stati presi i valori medi degli intervalli:

Tab. 10. – Valori assegnati alla muratura in esame

Tipologia di muratura	f_m (MPa)	τ_o (MPa)	E [MPa]	G [MPa]	W [kN/m ³]
<i>Muratura in mattoni pieni e malta di calce</i>	3,2	0.075	1500	500	18

5.3.3 Centro di competenza di tecnologie, arti e spettacolo

5.3.3.1 Muri nucleo originario (Ex convento San Domenico)

I muri portanti interni sono realizzati in mattoni pieni stilati con malta di calce idraulica.

Utilizzando le tabelle della circolare sopra citate si possono proporre i seguenti valori:

Tab. 11. – Valori di riferimento dei parametri meccanici (minimi e massimi) e peso specifico

Tipologia di muratura	f_m (MPa)	τ_o (MPa)	E [MPa]	G [MPa]	W [kN/m ³]
	Min-max	Min-max	Min-max	Min-max	
<i>Muratura in mattoni pieni e malta di calce</i>	2,40/4,00	0,06/0,09	1200/1800	400/600	18

Analogamente a quanto espresso per le altre porzioni di fabbricato, tenuto conto dei risultati delle prove sperimentali di cui ai paragrafi precedenti, quanto detto a proposito dell'approccio a favore della sicurezza e ritenendo di aver raggiunto il livello di conoscenza LC2, sono stati presi i valori medi degli intervalli:

Tab. 12. – Valori assegnati alla muratura in esame

Tipologia di muratura	f_m (MPa)	τ_o (MPa)	E [MPa]	G [MPa]	W [kN/m ³]
<i>Muratura in mattoni pieni e malta di calce</i>	3,2	0.075	1500	500	18

5.3.3.2 Murature di mattoni non appartenenti al nucleo originale

Dal momento che le prove sperimentali (prove sulle malte e prove con le onde soniche) hanno fornito risultati simili per tutte le murature di mattoni presenti in questa porzione di corpo di fabbrica, a questa muratura vengono assegnati i valori delle caratteristiche meccaniche con lo stesso criterio utilizzato per la muratura del nucleo originale. Anche in questo caso, quindi, vengono presi i valori medi degli intervalli indicati nella precedente tabella 11, vale a dire:

Tab. 13. – Valori assegnati alla muratura in esame

Tipologia di muratura	f_m (MPa)	τ_o (MPa)	E [MPa]	G [MPa]	W [kN/m ³]
<i>Muratura in mattoni pieni e malta di calce</i>	3,2	0.075	1500	500	18

5.3.3.3 Muratura dei pilastri zona Est

Tali pilastri, sia al piano terra, sia al primo piano sono realizzati in mattoni pieni con malta di calce idraulica.

Stanti i risultati delle prove e l'ispezione visiva effettuata tramite i saggi, per questo tipo di muratura i valori contenuti nella tabella C8A.2.1 sono stati "migliorati" applicando dei coefficienti migliorativi (suggeriti dalla Tab. C8A.2.2.):

Nel caso in esame si è ritenuto opportuno applicare i seguenti coefficienti correttivi:

$$c_1 = 1.5 \quad \text{malta buona}$$

$$c_2 = 1.3 \quad \text{connessione trasversale}$$

ne consegue:

$$f_{km} = f_m \times c_1 \times c_2 = 6.24 \text{ MPa}$$

$$f_{v0} = \tau_o \times c_1 \times c_2 = 0.15 \text{ MPa}$$

$$E_m = E \times c_1 \times c_2 = 2925 \text{ MPa}$$

$$G_m = G \times c_1 \times c_2 = 975 \text{ Mpa}$$

Tab. 14. – Valori assegnati alla muratura in esame

Tipologia di muratura	f_m (MPa)	τ_o (MPa)	E [MPa]	G [MPa]	W [kN/m ³]
<i>Muratura in mattoni pieni e malta di calce, con malta buona, buone connessioni trasversali</i>	6,24	0,15	2925	975	18

5.3.3.4 Muri perimetrali Lato Est e Lato Sud

I saggi eseguiti documentano la presenza della tipologia muraria detta “a muro misto o listato o con presenza di ricorsi di mattoni” nei muri di ambito.

Suddetta tipologia, descritta dal Prof. Luigi Pera nel testo di “Tecnica dell’Architettura” ed. Goliardica Pisa capitolo III, risultava diffusa in Toscana nelle costruzioni murarie degli anni seguenti al secondo conflitto mondiale.

Trattasi di compagine muraria in cui si associava il pietrame con il laterizio con il quale (il laterizio) si realizzavano anche altre parti dei corpi di fabbrica quali pilastri, lesene, parapetti delle finestre, ossatura delle cornici ecc.

Nel caso specifico la muratura è costituita da elementi lapidei naturali di tipo calcareo scabri rozzamente squadrati, (pietra “forte” probabilmente proveniente da cave di Pietrasanta senza subire altra lavorazione se non una grossolana aggiustatura), senza nucleo interno e doppio corso di mattoni pieni per tutto lo spessore del muro ogni metro e mezzo. Il legante utilizzato è costituito da malta comune (calce idraulica).

La soluzione costruttiva per rafforzare gli innesti (angoli) è realizzata con l’impiego di mattoni pieni che ammorsano la pietra.

La muratura non risulta lesionata e con legante di buona qualità.

Per quantificare la portanza della muratura è stata eseguita una prova di compressione col metodo del martinetto piatto doppio.

I risultati della prova effettuata sono riassunti nella tabella seguente:

La letteratura tecnica di settore per la tipologia in esame suggerisce alcuni valori peraltro riscontrati attraverso prove distruttive dalla scrivente su edifici coevi della città. In particolare si riportano i valori riportati nell’Allegato al capitolo 8 della Circolare n. 617 (tabella C8A.2.1)

Tab. 15. – Valori di riferimento dei parametri meccanici (minimi e massimi) e peso specifico

Tipologia di muratura	f_m (MPa)	τ_o (MPa)	E [MPa]	G [MPa]	W [kN/m ³]
	Min-max	Min-max	Min-max	Min-max	
<i>Muratura in pietra a spacco con buona tessitura</i>	2,60/3,80	0,056/0,074	1500/1980	500/660	21

Secondo il livello di conoscenza LC2 raggiunto potrebbero essere presi i valori medi degli intervalli, salvo apportare un necessario incremento del 10% per tener conto della presenza della listatura, come suggerito dalla tabella C8A.2.2.

In definitiva sono state assegnate alla muratura in esame le seguenti caratteristiche meccaniche:

Tab. 16. – Valori assegnati alla muratura in esame

Tipologia di muratura	f_m (MPa)	τ_o (MPa)	E [MPa]	G [MPa]	W [kN/m ³]
<i>Muratura in pietra a spacco con buona tessitura con listatura</i>	3.52	0.071	1740	580	21

6 CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEGLI ELEMENTI IN LEGNO

6.1 Prove sclerometriche

La conoscenza dello stato di conservazione della sezione di elementi lignei strutturali risulta indispensabile in quanto gli effetti dannosi degli agenti biologici che aggrediscono le diverse specie legnose non sono sempre rilevabili tramite semplici esami visivi. La prova sclerometrica per legno è una tecnica non distruttiva che può consentire di riconoscere lo stato di conservazione dell'elemento oltre che di stimare le sue residue capacità meccaniche.

L'apparecchio, denominato "Wood Pecker", è essenzialmente un penetrometro che utilizza un normale sclerometro meccanico opportunamente tarato, al quale viene aggiunto un ago in acciaio (L = 50 mm; $\Phi=2,5$ mm a punta tronco conica) sull'asta di percussione, scambiabile per ogni prova, che viene infisso nel tessuto ligneo con un numero prefissato di colpi.

Nella pratica, s'inserisce l'ago corredato di cuffia di protezione in plastica nel foro praticato all'estremità dell'asta di percussione; si posiziona lo strumento così composto normalmente alla superficie dell'elemento da analizzare e si applica una pressione graduale e crescente fino allo sgancio del martello per un numero di volte pari a 5. L'ago rimane infisso nel corpo dell'elemento ligneo dopo la rimozione dello strumento.

Ogni zona esaminata richiede di almeno due punti di misura, al fine di ottenere un valore indicativo della penetrazione. Questa viene misurata applicando il puntale di un apposito comparatore millesimale sull'estremità dell'ago penetrato. Premendo fino alla base dell'impugnatura si legge la posizione delle lancette dello strumento; la penetrazione dell'ago sarà pari a:

$$P = La - (Lc + Sc)$$

Dove:

P è la penetrazione dell'ago nel tessuto legnoso [mm];

La è la lunghezza totale dell'ago pari a 50 mm

Lc è la lettura eseguita al comparatore [mm]

Sc è lo spessore della cuffia di protezione pari a 6 mm.

Attraverso opportune campagne sperimentali la cui documentazione è parte integrante del manuale dello strumento sono state determinate le relazioni esistenti tra la profondità di penetrazione e le principali caratteristiche meccaniche delle essenze tra quelle maggiormente utilizzate nelle costruzioni: abete, castagno, pioppo e rovere, la seconda delle quali è quella riscontrata nell'orizzontamento in oggetto.

E' stata effettuata una prova con tre punti di misura in corrispondenza di due elementi principali delle capriate lignee in vista nella porzione di edificio che ospiterà il Centro di competenza di tecnologie, arti e spettacolo. L'essenza legnosa ipotizzata, data la consistenza, il colore e la tessitura è il rovere. I risultati vengono consegnati in APPENDICE 4 e riassunti nella seguente tabella:

Tab. 17. – Risultati delle prove sclerometriche

Prova	Specie legnosa	Media della penetrazione nei tre punti di misura [mm]	Resistenza a flessione [MPa]	Modulo di elasticità a flessione [MPa]	Piano - Elemento
1	Rovere	23,68	58,0	9563	trave rozzamente squadrata
2	Rovere	24,85	56,8	9415	superficie trattata
media:			57,4	9489,1	
Dev. std.:			0,8	104,6	
Dev. Std. %:			1,4	1,1	

I valori delle caratteristiche meccaniche (con riferimento particolare al modulo elastico) risultano in linea con i valori analoghi che si riscontrano in letteratura tecnica per la specie legnosa in oggetto.

6.2 Caratteristiche meccaniche del legno

In seguito a quanto riscontrato mediante le prove sclerometriche ed esistendo incertezza circa la varietà legnosa impiegata per le capriate, si ritiene di opportuno considerare cautelativamente ai fini delle verifiche le caratteristiche meccaniche riportate nel prospetto 5 Valori caratteristici per i tipi di legname considerati nella norma UNI 11035-2:2003 genericamente per le Latifoglie /Italia, vale a dire:

- Flessione (5-percentile), $f_{m,k} = 27$ MPa
- Trazione parallela alla fibratura (5-percentile) = 16 MPa
- Trazione perpendicolare alla fibratura (5-percentile) = 0,5 MPa
- Compressione parallela alla fibratura (5-percentile), $f_{c,0,k} = 22$ MPa
- Compressione perpendicolare alla fibratura (5-percentile), $f_{c,90,k} = 3,9$ MPa
- Taglio (5-percentile), $f_{v,k} = 2,0$ MPa
- Modulo di elasticità parallelo alla fibratura (medio), $E_{0,mean} = 11.500$ MPa
- Modulo di elasticità parallelo alla fibratura (5-percentile), $E_{0,05} = 8.400$ MPa
- Modulo di elasticità perpendicolare alla fibratura (medio), $E_{90,mean} = 770$ MPa
- Modulo di taglio (medio), $G_{mean} = 720$ MPa
- Massa volumica (5-percentile) $\rho_k = 515$ kg/m³
- Massa volumica (media) $\rho_{mean} = 560$ kg/m³

7 PROVE SUI CALCESTRUZZI

7.1 Risultati di una precedente campagna d'indagini

Nel corso dei sopralluoghi effettuati dalla scrivente è stato appurato che erano state effettuate delle prove sui pilastri in c.a. (piano primo) e sui placaggi dei pilastri in muratura (piano terra) della porzione di edificio che ospiterà il Centro per attività di contrasto al disagio e su una nervatura di un solaio sostenente il secondo piano del corpo di fabbrica corrispondente al Centro di competenza di tecnologie, arti e spettacolo. Tali prove, che sono consistite nell'esecuzione di n.3 carotaggi con relativa prova di compressione in laboratorio e nell'esecuzione di alcune prove sclerometriche ed ultrasoniche combinate, erano state eseguite dal Laboratorio DELTA S.r.l. di Lucca, su incarico del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – Provveditorato Interregionale per le OO.PP. Toscana Umbria – Firenze a supporto delle progettazioni del PIUSS del Comune di Lucca.

In seguito ad autorizzazione dell'arch. Etrusca Del Debbio, a nome del Dirigente Arch. Mauro Di Bugno del Comune di Lucca – Servizio di Staff B, il Laboratorio DELTA, nella persona del Geom. S. Marchesini, ha messo a disposizione della scrivente una copia del Rapporto di Prova n.197nc del 10/02/2010 relativo alle indagini suddette, che viene consegnata in APPENDICE 5.

7.1.1 Prelievo di carote di calcestruzzo

Risultano prelevati tre campioni di calcestruzzo nelle seguenti posizioni:

1. Pilastro in c.a. nel primo piano del Centro per attività di contrasto al disagio;
2. Cerchiatura in c.a. di un pilastro in muratura del Centro per attività di contrasto al disagio;
3. Nervatura di solaio in c.a. posto nel secondo piano lato Nord del Centro di competenza di tecnologie, arti e spettacolo.

I calcestruzzi a cui si riferiscono i campioni sono di fattura ed epoca differenti. Le prove di compressione sugli stessi hanno fornito i seguenti risultati:

Tab. 18. – Carote di calcestruzzo, determinazione della velocità delle onde ultrasoniche e misura della profondità di carbonatazione

CRTG	Sigla	Ø [mm]	lunghezza [cm]	Velocità ultrasuoni [m/s]	prof. carbon. [mm]	
1	P/P1/ISO-C	94	35,5	3349,1	75	90
2	P/PT/2/SO-C	94	17,0	3455,3	55	0
3	T/P1/1/SO	94	25,0	3937,0	45	55

Tab. 19. – Risultati delle prove di compressione su campioni di calcestruzzo

CRTG	Sigla	Ø [mm]	H [mm] (*)	H/Ø	Massa volumica [kg/m ³]	R _{cil} [N/mm ²]	R _{cil} [N/mm ²]
1	P/P1/ISO-C	94	190	2,00	2305	11,1	13,4

CRTG	Sigla	Ø [mm]	H [mm] (*)	H/Ø	Massa volumica [kg/m ³]	R _{cit} [N/mm ²]	R _{cit} [N/mm ²]
2	P/PT/2/SO-C	94	94	2,00	2299	26,6	32,1
3	T/P1/1/SO	94	188	2,00	2276	16,3	19,6

7.1.2 Prove sclerometriche ed ultrasoniche combinate

Nelle stesse zone in cui sono stati effettuati i prelievi di cui al paragrafo precedente, sono state eseguite prove per la determinazione dell'indice di rimbalzo sclerometrico, combinate con misure della velocità di propagazione delle onde ultrasoniche. I valori medi per ciascuna delle suddette prove vengono riportati nella seguente tabella:

Tab. 20. – Valori medi delle prove combinate

Prova n.	Sigla	Indice di rimbalzo N	V _{media} [m/s]	R [MPa]	Posizione
1	P/P1/1/SO-C	38,3	3093,4	19,11	Pilastro piano primo Centro per attività di contrasto al disagio
2	P/P1/2/SC	37,0	3537,5	19,77	Pilastro piano primo Centro per attività di contrasto al disagio
3	P/PT/1/SO	35,0	3320,7	15,51	Cerchiatura in c.a. pilastro in muratura Centro per attività di contrasto al disagio
4	P/PT/2/SO-C	35,8	3832,6	23,25	Cerchiatura in c.a. pilastro in muratura Centro per attività di contrasto al disagio
5	T/P1/1/SO	37,0	3924,3	25,89	Nervatura solaio. 2° P Nord C. competenza di tecnologie, arti e spettacolo
6	T/P1/2/SO-C	39,0	3325,4	18,12	Nervatura solaio. 2° P Nord C. competenza di tecnologie, arti e spettacolo

Nella tabella viene riportata anche una stima effettuata dalla scrivente della resistenza a compressione in ciascuna zona di prova, ricavata con la formula di cui al paragrafo 7.2.3 della presente relazione.

7.2 Metodo SonReb – prove sclerometriche ed ultrasoniche combinate

7.2.1 Prove per la determinazione dell'indice di rimbalzo

La prova consiste nella misura dell'indice di rimbalzo di una massa battente d'acciaio, azionata da una molla che contrasta un'asta di percussione posta a contatto della superficie di calcestruzzo.

L'indice di rimbalzo viene letto su una scala lineare alloggiata nella cassa dello strumento (sclerometro) e risulta proporzionale alla durezza del calcestruzzo e quindi alla sua resistenza.

Le prove sono state effettuate in conformità alla normativa UNI EN 12504-2:2001 con l'utilizzo di uno sclerometro Echna1000 (matr.06D00310G): l'angolo di inclinazione delle battute è di 0° (normale alla direzione del getto).

Le prove effettuate, sono state limitate alla porzione di corpo di fabbrica che ospiterà il Centro per attività di contrasto al disagio. Sono state eseguite n.6 prove in

corrispondenza di altri tanti campi, coincidenti con le posizioni delle prove tramite ultrasuoni, indicate negli elaborati grafici consegnati in allegato.

I risultati delle prove effettuate sono consegnate in APPENDICE 6 della presente relazione e riassunti nella seguente tabella:

Tab. 21. – Valori dell'indice di rimbalzo

n. prova	Indice di rimbalzo N	Dev. Std.	posizione
1	36,5	1,8	Piano terra, placcaggio di pilastro in muratura
2	39,4	1,4	Piano primo, secondo pilastro in ca da Nord (zona prelievo)
3	38,9	1,7	Piano primo, terzo pilastro in ca da Nord
4	42,9	1,9	Piano secondo, primo pilastro in ca da Nord
5	41,9	1,5	Piano secondo, quarto pilastro in ca da Nord
6	42,1	1,6	Piano secondo, primo pilastro in ca da Sud
Media	41,13		
Dev. Std.	1,50		
% dev. Std.	3,7		

Il calcolo delle medie è stato effettuato escludendo i valori di estremità e il valore relativo al placcaggio nel piano terra, in quanto palesemente calcestruzzo di diversa fattura. In ogni caso le prove hanno fornito risultati simili (percentuale di deviazione standard pari a 3,7), fenomeno questo dovuto alla carbonatazione nei calcestruzzi. Peraltro i valori assoluti riscontrati confermano la presenza di un calcestruzzo di caratteristiche meccaniche modeste.

7.2.2 Indagini ultrasoniche

La prova consiste nel propagare all'interno del materiale dei treni di impulsi (50-150 s) nel campo delle frequenze ultrasoniche (15 - 50 kHz), prodotti da una sonda emittente e nel misurare il ritardo con cui tali impulsi vengono percepiti da una sonda ricevente, posizionata ad una distanza nota.

Poiché la velocità dell'impulso ultrasonico è tanto più elevata quanto più alta è la compattezza del materiale, con questa tecnica è possibile individuare la presenza di lesioni, cavità, distacchi, etc.

È possibile inoltre stimare il valore del modulo elastico dinamico mediante la relazione seguente, valida per un mezzo indefinito, omogeneo ed isotropicamente elastico:

$$E = \frac{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}{(1 - \mu)} \frac{\gamma}{g} V^2 \quad (1)$$

in cui:

- V: velocità dell'onda ultrasonica [m/s];
- E: modulo elastico dinamico [MPa];
- μ : coefficiente di Poisson dinamico;
- g: accelerazione di gravità (9,81 m/s²);
- J: peso volumico del materiale

Le costanti elastiche E e μ vengono definite “dinamiche” per distinguerle dalla condizione statica tipica delle prove eseguite in laboratorio in quanto, dal momento che le tensioni indotte nel mezzo dalle vibrazioni sono di livello molto basso e di breve durata, le misurazioni effettuate tramite il processo di vibrazione devono essere riferite alle condizioni in cui la prova ha luogo.

Si è operato con il seguente set d'apparecchiature:

- generatore di impulsi ultrasonici modello CONTROLS 58 - E0048
- coppia di sonde ricevente e trasmittente.

Le misurazioni sono state effettuate da personale tecnico specializzato con la tecnica dei trasduttori in trasparenza in analogia alle prescrizioni della UNI EN 12504-4:2005.

Sono state eseguite 6 misurazioni in corrispondenza di ciascuno dei campi coincidenti con le zone in cui sono state effettuate le prove sclerometriche di cui al paragrafo precedente (vedi elaborati grafici).

Il valor medio delle velocità risulta pari a 3459,55 m/s ed è stato ottenuto escludendo i valori di estremità ed il valore della velocità nella prova effettuata sul placcaggio del piano terra. Tale valore corrisponde a quello di un calcestruzzo di modeste qualità.

Al fine della determinazione del modulo elastico dinamico, nelle misure effettuate è stato considerato un peso specifico del materiale pari a 2305 daN/m³, che corrisponde al valore riscontrato nel primo prelievo effettuato dal Laboratorio DELTA S.r.l. in occasione della precedente campagna d'indagini.

I risultati ottenuti nonché le elaborazioni per il calcolo del modulo elastico dinamico, vengono ancora riportati in APPENDICE 6 e riassunti nella seguente tabella:

Tab. 22. – Valori medi della velocità di propagazione delle onde ultrasoniche e del modulo elastico

N. prova	V_{media} [m/s]	E_d [MPa]	Posizione e note
1	3498	25871	Piano terra, placcaggio di pilastro in muratura
2	3312	23191	Piano primo, secondo pilastro in ca da Nord (zona prelievo)
3	3564	26865	Piano primo, terzo pilastro in ca da Nord
4	3256	22423	Piano secondo, primo pilastro in ca da Nord
5	3503	25947	Piano secondo, quarto pilastro in ca da Nord
6	3576	27035	Piano secondo, primo pilastro in ca da Sud
media	3459,55	25333,99	
Dev. Std.	131,8	1912,2	
% dev. Std.	3,8	7,5	

7.2.3 Metodo combinato (Elaborazioni SONREB)

Il metodo consiste nel confronto dei risultati tra la misura della locale velocità di propagazione di impulsi ultrasonici e la misura dell'indice di rimbalzo ottenuta con utilizzo di uno sclerometro tipo N. La combinazione ottenuta offre il vantaggio di annullare l'influenza dell'umidità e del grado di maturazione del calcestruzzo sui risultati; questo annullamento ha la sua spiegazione nell'effetto opposto che umidità e

grado di maturazione del calcestruzzo hanno, a parità di resistenza a rottura, sulle misure della velocità di propagazione degli ultrasuoni e sull'indice di rimbalzo.

Tale combinazione permette inoltre la riduzione, rispetto al metodo ultrasonico, dell'influenza della granulometria e della natura dell'inerte, del dosaggio e del tipo di cemento e dell'eventuale additivo utilizzato per il getto di calcestruzzo.

Risulta altresì diminuita, rispetto al metodo della durezza superficiale, l'importanza delle variazioni di qualità fra strati superficiali e strati profondi.

Esecuzione del metodo

Per ogni zona da esaminare, in cui è necessario conoscere il valore della resistenza a compressione, vengono individuati i valori locali della velocità di propagazione e dell'indice di rimbalzo. Ciascuna singola area elementare risulta così identificata da una coppia di valori il cui utilizzo in opportune formule sperimentali permette di individuare la resistenza a compressione di un "calcestruzzo standard" avente le seguenti caratteristiche:

cemento:	425 Piano terra
dosaggio:	400 Kg/mc
aggregati:	calcarei
frazione 0-1:	26%
diam. max:	30 mm
additivo:	assente

In pratica, esistono numerose relazioni sperimentali che esprimono la resistenza cubica media (standard) del calcestruzzo in funzione della velocità delle onde longitudinali V (ricavate con le misure tramite ultrasuoni) e degli indici di rimbalzo sclerometrici N , ciascuna riferita a particolari tipi di calcestruzzo e a differenti condizioni di maturazione.

Per le elaborazioni con il metodo combinato (SonReb) eseguite, è stata utilizzata la relazione seguente:

$$R_{std} = (7,695 \cdot 10^{-11}) \cdot V^{2,6} \cdot N^{1,4} \quad (\text{MPa})$$

Nel caso di diversa composizione del calcestruzzo esaminato, il valore della resistenza ottenuto deve essere moltiplicato per un coefficiente totale di influenza C_t che ne riflette le modifiche di composizione rispetto a quello "standard":

$$R = R_{std} \times C_t$$

dove, sulla base del principio di sovrapposizione di più effetti indipendenti, risulta:

$$C_t = C_c \cdot C_d \cdot C_i \cdot C_g \cdot C_\phi$$

in cui:

C_c = coefficiente d'influenza del tipo di cemento;

C_d = " " " del dosaggio di cemento;

C_i = " " " della natura dell'inerte;

C_g = " " " della frazione dell'inerte;

C_ϕ = " " " del diametro max. dell'inerte

Nel caso specifico sono stati adottati i seguenti coefficienti correttivi caratteristici del tipo di calcestruzzo presumibilmente usato nei getti: (tali valori sono determinati sulla base di tabelle sperimentali, caratteristiche dei calcestruzzi, - vedi Bocca-Cianfrone su L'Industria Italiana del Cemento 6/83):

$C_c = 0,94$ (cemento tipo 325 Piano terra);
 $C_d = 0,94$ (dosaggio 350 kg/m^3);
 $C_i = 1,00$ (aggregato alluvionale);
 $C_g = 1,00$ (26%);
 $C_\phi = 1,10$ (diametro massimo 25 mm).

$$C_t = C_c * C_d * C_i * C_g * C_\phi = 0,97196$$

Le elaborazioni relative al calcolo delle resistenze in ognuno dei campi di prova vengono riportate in APPENDICE 6 e riassunte nella seguente tabella:

Tab. 23. – Resistenza del calcestruzzo ottenuta con il metodo combinato

Prova n.	Indice di rimbalzo N	V _{media} [m/s]	R [MPa]	Posizione
1	36,5	3498	24,59	Piano terra, placcaggio di pilastro in muratura
2	39,4	3312	18,18	Piano primo, secondo pilastro in ca da Nord (zona prelievo)
3	38,9	3564	21,62	Piano primo, terzo pilastro in ca da Nord
4	42,9	3256	19,61	Piano secondo, primo pilastro in ca da Nord
5	41,9	3503	22,93	Piano secondo, quarto pilastro in ca da Nord
6	42,1	3576	24,35	Piano secondo, primo pilastro in ca da Sud
Media	41,13	3459,55	21,39	
Dev. Std.	1,50	131,79	1,68	
Dev. std. [%]	3,66	3,81	7,84	

Il calcolo dei valori medi è stato effettuato escludendo i valori di estremità e l'elaborazione relativa al placcaggio del piano terra. La resistenza cubica ottenuta con questa metodologia risulta superiore rispetto a quella ottenuta con la prova di compressione sul campione prelevato dal pilastro del primo piano dello stabile (vedi tabella 19). Di tale situazione si terrà conto in fase di verifica strutturale, considerando, come di consueto un approccio a favore di sicurezza.

* * *

APPENDICE 1

REPORT FOTOGRAFICO



Fig. 1 – Centro per attività di contrasto al disagio: saggio sulla muratura – Per la documentazione fotografica completa dei saggi, si rimanda agli elaborati grafici CD-PS.TAV.01 e 02.



Fig. 2 – Centro per attività di contrasto al disagio: saggio su orizzontamento piano.



Fig. 3 – Centro per attività di contrasto al disagio: Misura della velocità di propagazione delle onde ultrasoniche su pilastro in muratura.



Fig. 4 – Centro per attività di contrasto al disagio: Prova per determinare la resistenza a compressione delle malte nelle murature.

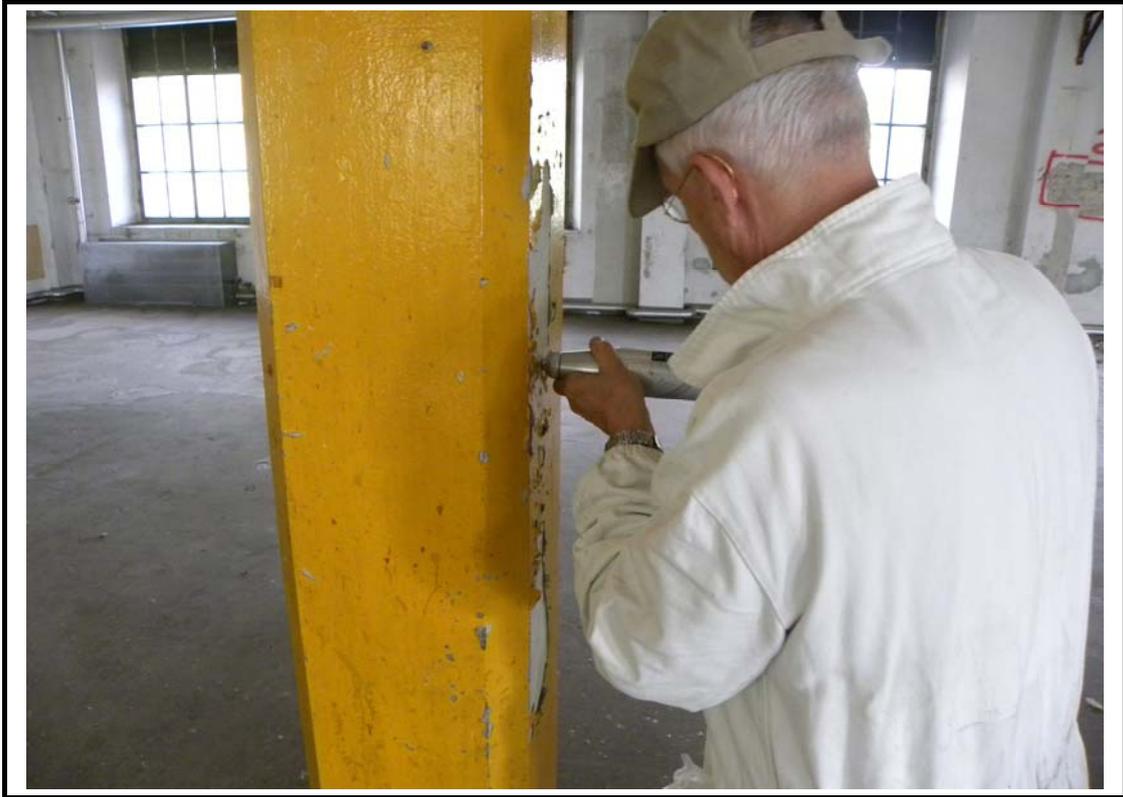


Fig. 5 – Centro per attività di contrasto al disagio: prova sclerometrica su pilastro in c.a..



Fig. 6 – Centro per attività di contrasto al disagio: prova ultrasonica su pilastro in c.a..



Fig. 7 – Centro di competenza per lo sviluppo e l'insediamento d'impresa ad alta innovazione tecnologica: Saggio sulla muratura – Per la documentazione fotografica completa dei saggi, si rimanda agli elaborati grafici IM-PS.TAV.01 e 02.



Fig. 8 – Centro di competenza per lo sviluppo e l'insediamento d'impresa ad alta innovazione tecnologica: Saggio su orizzontamento piano.



Fig. 9 – Centro di competenza per lo sviluppo e l'insediamento d'impresa ad alta innovazione tecnologica: rilievo degli elementi linei delle capriate che sostengono la copertura.



Fig. 10 – Centro di competenza per lo sviluppo e l'insediamento d'impresa ad alta innovazione tecnologica: rilievo dell'orditura delle coperture.



Fig. 11 – Centro di competenza per lo sviluppo e l'insediamento d'impresa ad alta innovazione tecnologica: prova con le onde soniche - martello strumentato PCB 086D20.



Fig. 12 – Centro di competenza per lo sviluppo e l'insediamento d'impresa ad alta innovazione tecnologica: prova con le onde soniche – accelerometro PCB 393C.



Fig. 13 – Centro di competenza per lo sviluppo e l'insediamento d'impresa ad alta innovazione tecnologica: prova con le onde sonore – misurazione del percorso.



Fig. 14 – Centro di competenza per lo sviluppo e l'insediamento d'impresa ad alta innovazione tecnologica: prova per determinare la resistenza a compressione delle malte.



Fig. 15 – Centro di competenza di tecnologie, arti e spettacolo: Saggio sulla muratura - Per la documentazione fotografica completa dei saggi, si rimanda agli elaborati grafici AS-PS.TAV.01, 02 e 03.



Fig. 16 – Centro di competenza di tecnologie, arti e spettacolo: Saggio su orizzontamento piano.



Fig. 17– Centro di competenza di tecnologie, arti e spettacolo: Saggio su orizzontamento voltato.



Fig. 18 – Centro di competenza di tecnologie, arti e spettacolo: rilievo dello spessore strutturale degli elementi voltati.

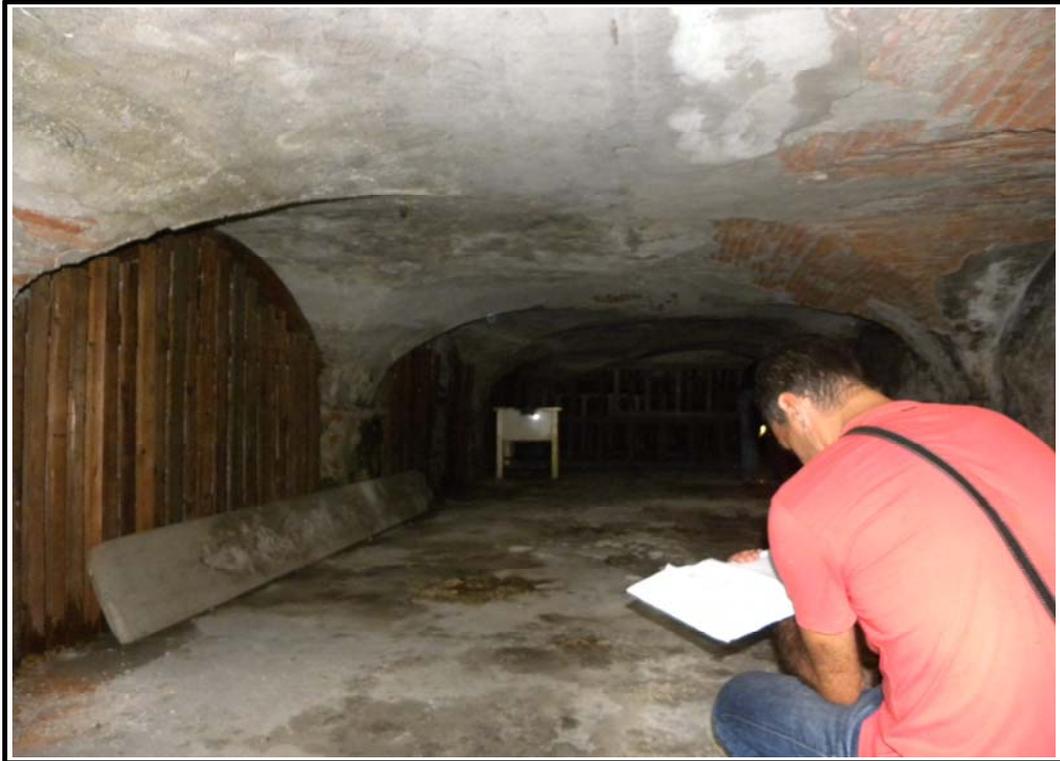


Fig. 19 – Centro di competenza di tecnologie, arti e spettacolo: rilievo ex novo del piano interrato.



Fig. 20 – Centro di competenza di tecnologie, arti e spettacolo: rilievo delle capriate che sostengono le coperture.



Fig. 21 – Centro di competenza di tecnologie, arti e spettacolo: rilievo dell’orditura minuta del tetto.



Fig. 22 – Centro di competenza di tecnologie, arti e spettacolo: rilievo delle colonne in ghisa che sostengono la chiostra.

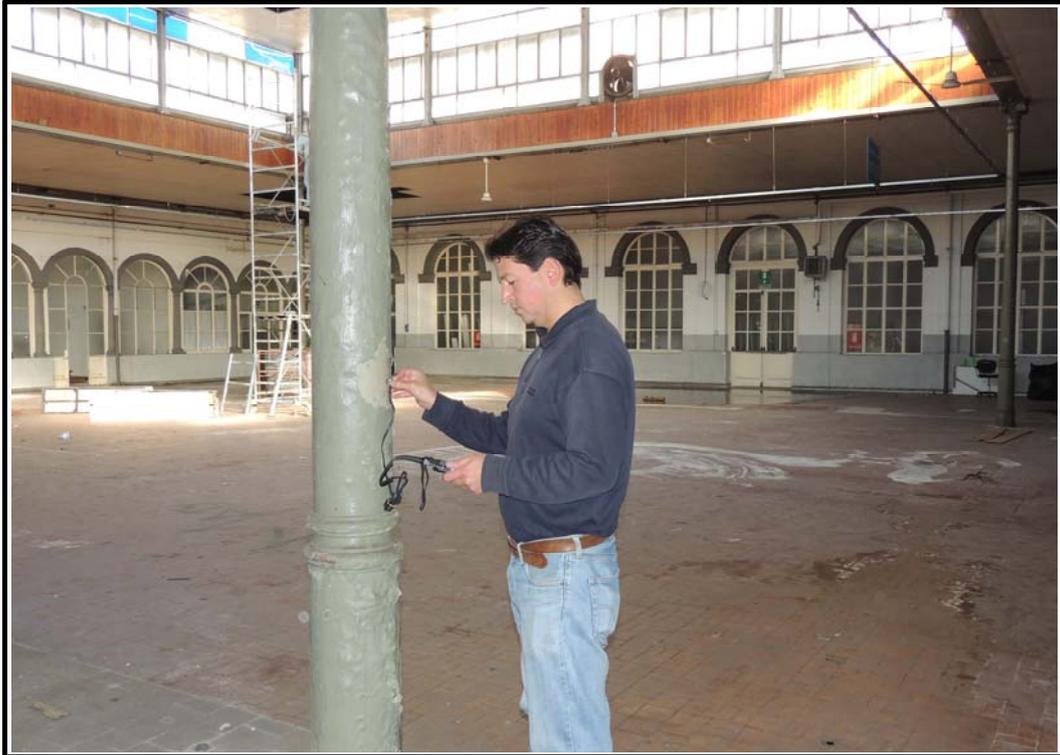


Fig. 23 – Centro di competenza di tecnologie, arti e spettacolo: determinazione dello spessore delle colonne che sostengono la chiostra con misuratore ad ultrasuoni.



Fig. 24 – Centro di competenza di tecnologie, arti e spettacolo: rilievo della struttura della chiostra.



Fig. 25 – Centro di competenza di tecnologie, arti e spettacolo: come da figura precedente.



Fig. 26 – Centro di competenza di tecnologie, arti e spettacolo: rilievo della copertura della chiostra.



Fig. 27 – Centro di competenza di tecnologie, arti e spettacolo: prova con le onde soniche - martello strumentato PCB 086D20.



Fig. 28 – Centro di competenza di tecnologie, arti e spettacolo: prova con le onde soniche – accelerometro PCB 393C.



Fig. 29 – Centro di competenza di tecnologie, arti e spettacolo: prova con le onde soniche – misurazione del percorso.



Fig. 30 – Centro di competenza di tecnologie, arti e spettacolo: prova per determinare la resistenza a compressione delle malte.



Fig. 31 – Centro di competenza di tecnologie, arti e spettacolo: prova sclerometrica su elementi in legno delle capriate di copertura – esecuzione prova a mezzo di sclerometro Woodpecker.



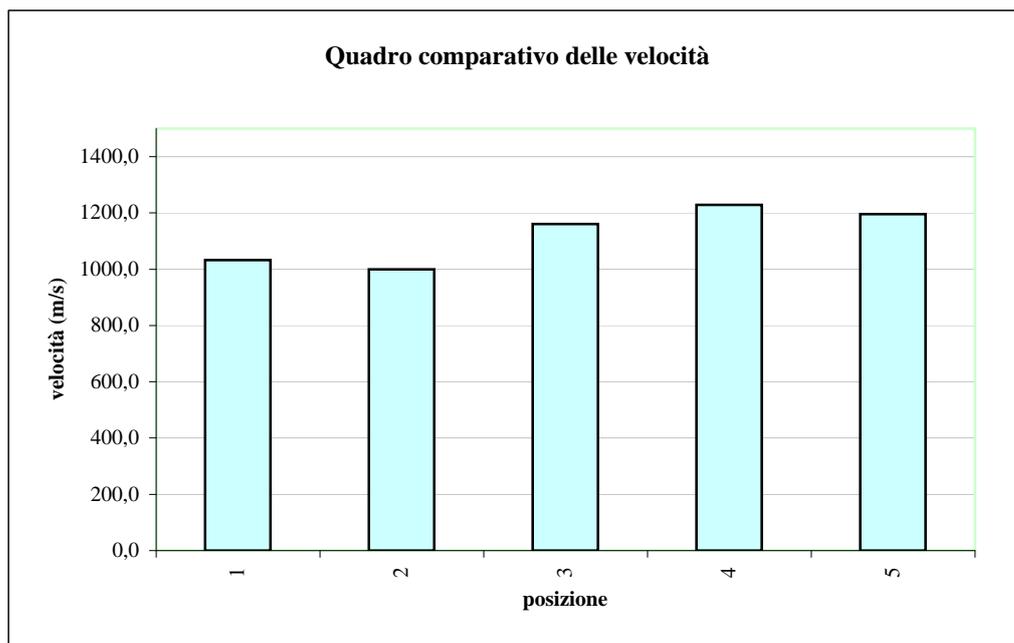
Fig. 32 – Centro di competenza di tecnologie, arti e spettacolo: prova sclerometrica su elementi in legno delle capriate di copertura – misurazione della profondità di penetrazione dei chiodi.

APPENDICE 2

ELABORAZIONI NUMERICHE DELLE PROVE PER LA DETERMINAZIONE DELLA VELOCITÀ DI PROPAGAZIONE DELLE ONDE SONICHE NELLE MURATURE

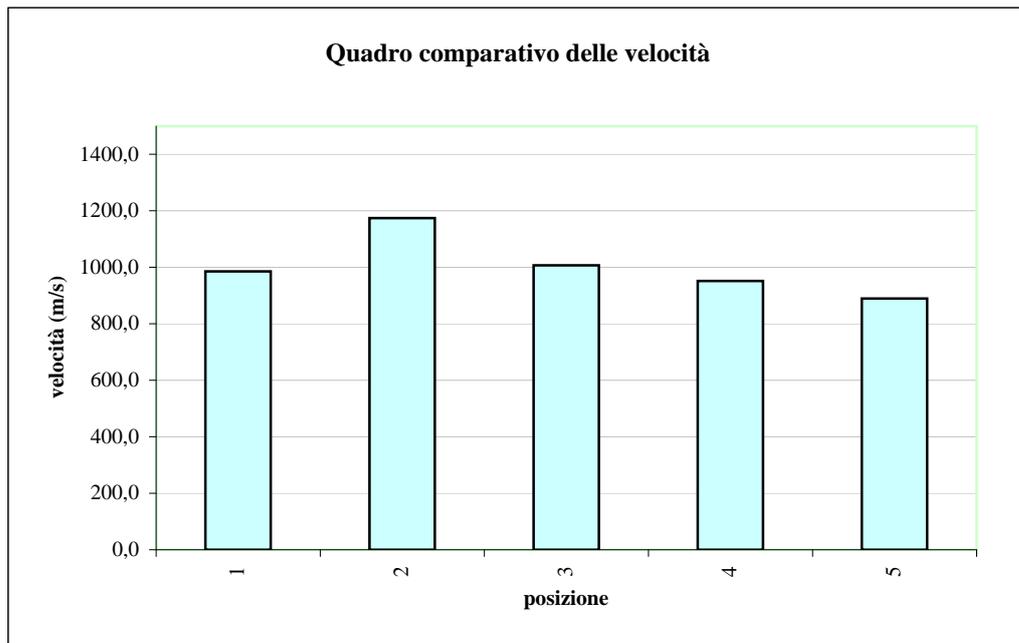
Elaborazioni misure della velocità di propagazione di onde soniche

n. prova	spessore attraversato [m]	tempo di ritardo [s]	velocità [m/s]	modulo elastico dinamico [MPa]	note
1	1,88	0,0018	1033,0	1631,5	Piano terra. muro facciata Est
2	1,85	0,0019	1000,0	1529,1	Piano primo. muro facciata Est
3	0,65	0,0006	1160,7	2060,0	Piano secondo. Pilastro facciata Est
4	0,43	0,0004	1228,6	2307,9	Piano terzo. Pilastro facciata Ovest
5	0,44	0,0004	1195,7	2185,9	Piano terzo. Pilastro facciata Est
media:			1123,6	1942,9	N.B.: Il calcolo dei valori medi è puramente indicativo, trattandosi di murature diverse.
Dev. std.			101,3	344,3	
Dev.std.%			9,0	17,7	



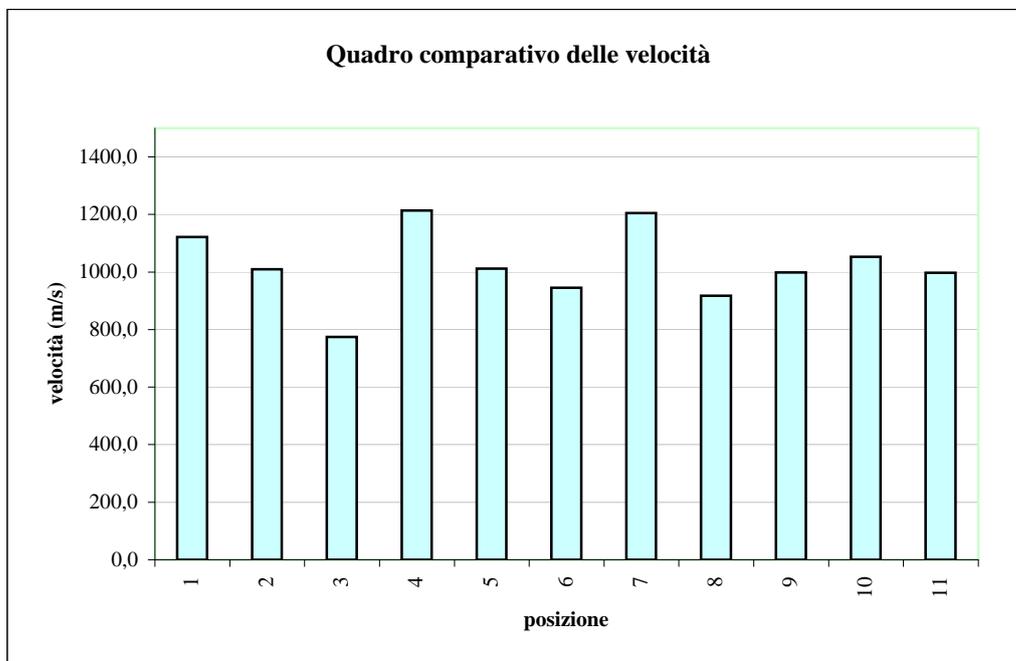
Elaborazioni misure della velocità di propagazione di onde soniche

n. prova	spessore attraversato [m]	tempo di ritardo [s]	velocità [m/s]	modulo elastico dinamico [MPa]	note
1	2,05	0,0021	985,6	1397,6	Piano terra. Muro facciata Ovest
2	0,62	0,0005	1174,2	1879,4	Piano terra. Pilastro centrale in mattoni
3	2,74	0,0027	1007,4	1460,0	Piano terra. Muro facciata Sud
4	2,74	0,0029	951,4	1302,3	Piano primo. Muro facciata Nord
5	2,17	0,0024	890,1	1139,8	Piano primo. Muro facciata Est
media:			1001,7	1435,8	N.B.: Il calcolo dei valori medi è puramente indicativo, trattandosi di murature diverse.
Dev. std.			106,1	275,8	
Dev.std.%			10,6	19,2	



Elaborazioni misure della velocità di propagazione di onde soniche

n. prova	spessore attraversato [m]	tempo di ritardo [s]	velocità [m/s]	modulo elastico dinamico [MPa]	note
1	0,83	0,0007	1121,6	2021,9	Piano terra. Setto zona ingresso a Nord
2	2,00	0,0020	1010,1	1639,8	Piano terra. Setto locale voltato zona ingresso
3	5,81	0,0075	774,7	964,5	Piano terra. Muro corridoio a Sud del chiostro
4	1,53	0,0013	1214,3	2369,7	Piano terra. Setto zona Sud
5	1,70	0,0017	1011,9	1645,6	Piano primo. Muro Nord del chiostro
6	3,63	0,0038	945,3	1436,2	Piano primo. Muro Est del chiostro
7	0,54	0,0004	1205,4	2335,0	Piano primo. Pilastro zona Sud-Est
8	3,21	0,0035	917,1	1351,9	Piano primo. Muro facciata Est
9	1,23	0,0012	998,4	1601,9	Piano primo. Muro facciata Ovest
10	1,00	0,0010	1052,6	1780,8	Piano secondo. Muro chiostro Nord
11	1,34	0,0013	997,0	1597,6	Piano secondo. Muro facciata Nord
media:			1022,6	1704,1	N.B.: Il calcolo dei valori medi è puramente indicativo, trattandosi di murature diverse.
Dev. std.			126,9	414,8	
Dev.std.%			12,4	24,3	

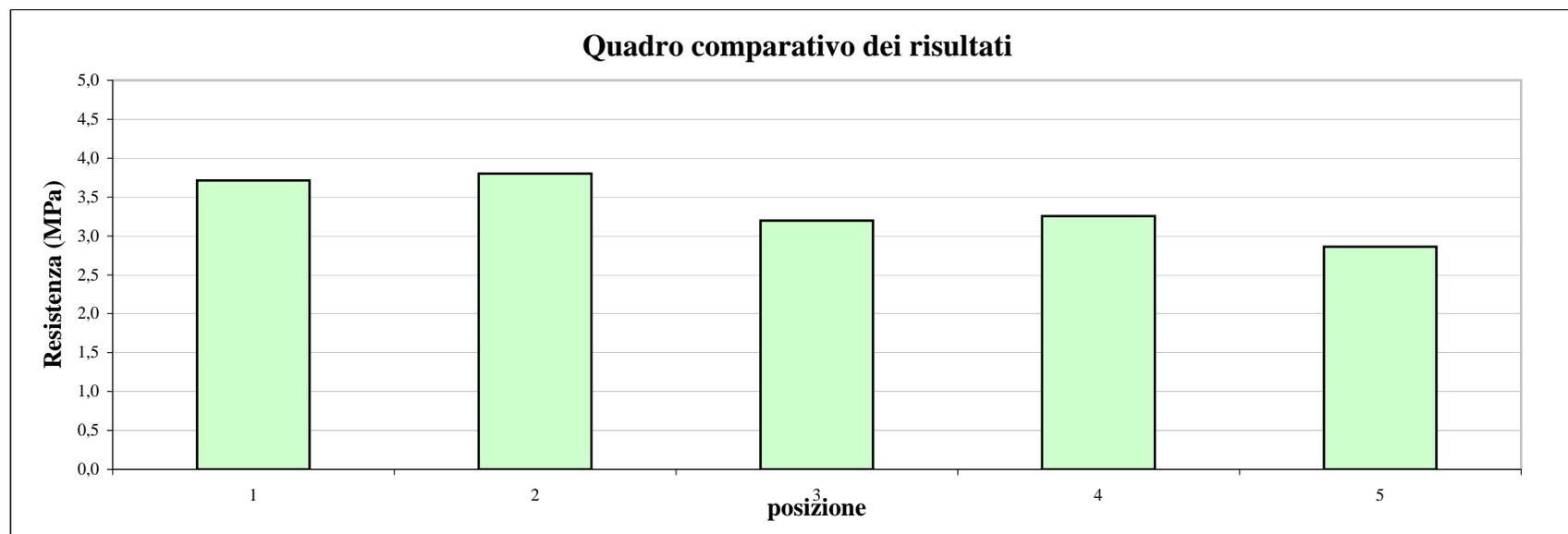


APPENDICE 3

ELABORAZIONI NUMERICHE DELLE PROVE PER LA DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA A COMPRESSIONE DELLE MALTE

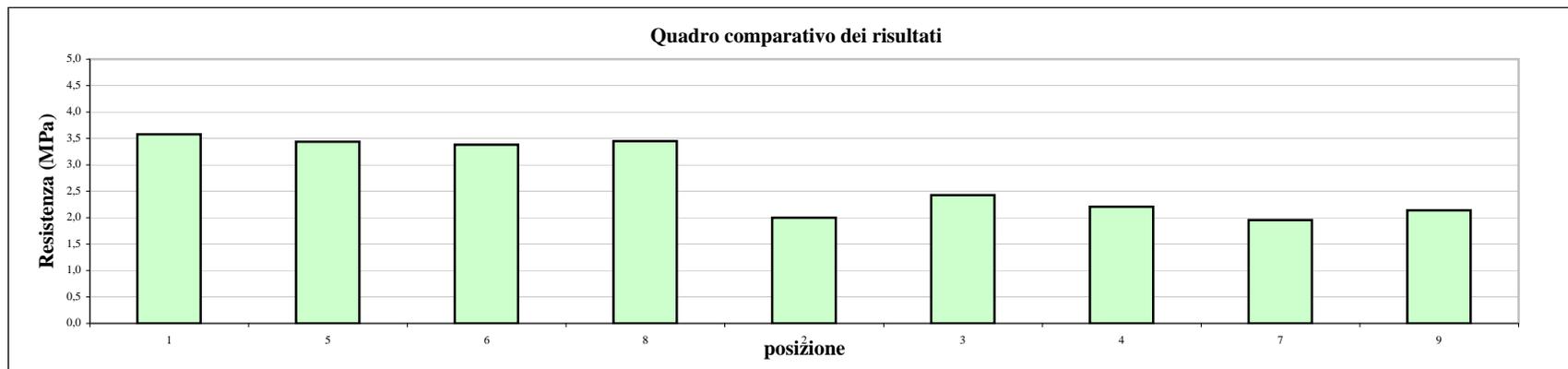
Determinazione della Resistenza a compressione delle malte

Punto di misura	LP1	LP2	LP3	LP4	LP5	LP6	LP7	LP8	LP9	LP10	Lpmedio	Res. a compr. [MPa]
1	578	443	413	592	364	439	439	523	506	532	482,83	3,71
2	450	473	443	693	571	401	481	590	443	399	494,20	3,80
3	508	417	508	359	361	347	490	434	345	389	415,45	3,20
4	537	399	441	369	352	403	317	574	432	408	423,15	3,26
5	296	340	387	448	345	394	299	413	341	455	371,70	2,86
N.B.: Il PNT-G possiede un'alta risoluzione per malte di sabbia con resistenza a compressione inferiore a 4 MPa. Per valori superiori (malte più robuste), il lavoro di perforazione dipende dalle proprietà della sabbia, in assenza di conoscenza su di esse, può essere stimato solo l'ordine di grandezza della resistenza della malta. Nel calcolo della media sono stati esclusi i valori estremi.											media	3,39
											dev. St.	0,28
											% dev. St.	8,37



Determinazione della Resistenza a compressione delle malte

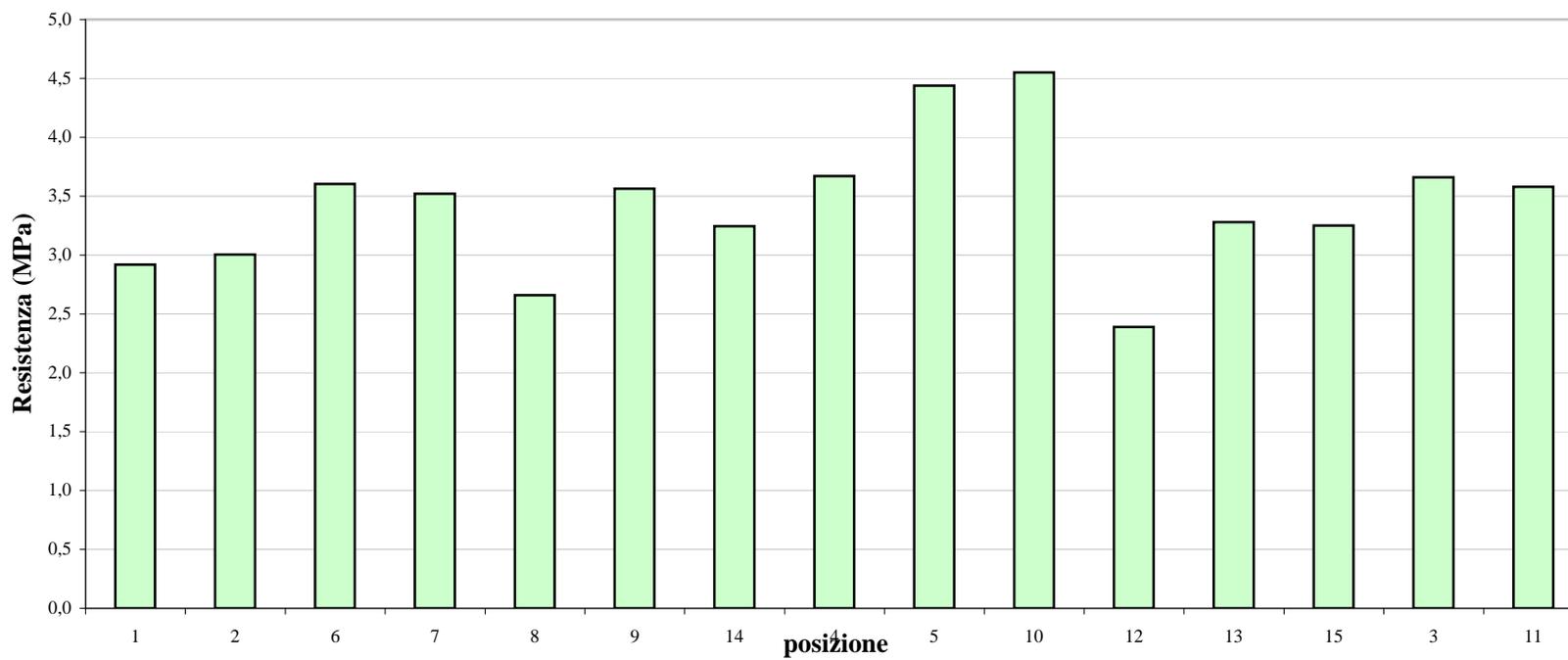
Punto di misura	LP1	LP2	LP3	LP4	LP5	LP6	LP7	LP8	LP9	LP10	Lpmedio	Res. a compr. [MPa]
1	526	536	551	405	371	431	401	545	428	456	464,93	3,58
5	504	508	415	448	485	457	364	399	504	389	447,13	3,44
6	471	412	394	459	499	428	397	440	524	375	439,89	3,38
8	484	530	536	397	390	413	458	514	358	406	448,50	3,45
N.B.: Il PNT-G possiede un'alta risoluzione per malte di sabbia con resistenza a compressione inferiore a 4 MPa. Per valori superiori (malte più robuste), il lavoro di perforazione dipende dalle proprietà della sabbia, in assenza di conoscenza su di esse, può essere stimato solo l'ordine di grandezza della resistenza della malta. Le prove sono state distinte tra quelle eseguite sulla muratura di mattoni e quella in pietra. Qui si riferisce a quella in mattoni. Nel calcolo della media sono stati esclusi i valori estremi.											media	3,44
											dev. St.	0,01
											% dev. St.	0,22
2	229	224	269	217	287	253	268	312	297	244	259,84	2,00
3	349	319	308	325	353	294	313	301	289	308	315,83	2,43
4	368	311	346	277	283	245	262	281	277	218	286,86	2,21
7	237	259	280	208	195	274	309	301	230	250	254,24	1,96
9	231	292	270	257	249	347	220	289	334	294	278,25	2,14
N.B.: Le prove sono state distinte tra quelle eseguite sulla muratura di mattoni e quella in pietra. Qui si riferisce a quella in pietra. Nel calcolo della media sono stati esclusi i valori estremi.											media	2,12
											dev. St.	0,11
											% dev. St.	5,02



Determinazione della Resistenza a compressione delle malte

Punto di misura	LP1	LP2	LP3	LP4	LP5	LP6	LP7	LP8	LP9	LP10	Lpmedio	Res. a compr. [MPa]
1	426	382	228	269	334	391	478	432	446	407	379,27	2,92
2	644	283	423	337	338	230	380	576	270	423	390,42	3,00
6	372	305	509	881	528	384	485	288	458	475	468,48	3,60
7	497	740	774	180	362	360	542	281	341	504	457,80	3,52
8	267	419	254	281	366	469	300	310	353	439	345,84	2,66
9	240	758	473	168	1000	463	318	245	468	503	463,25	3,56
14	506	488	384	426	432	462	338	246	449	488	421,82	3,24
N.B.:Il PNT-G possiede un'alta risoluzione per malte di sabbia con resistenza a compressione inferiore a 4 MPa. Per valori superiori (malte più robuste), il lavoro di perforazione dipende dalle proprietà della sabbia, in assenza di conoscenza su esse, può essere stimato solo l'ordine di grandezza della resistenza della malta. Le prove sono state distinte tra quelle eseguite sulla muratura di mattoni corrente, mattoni su pilastri e quella in pietra listata. Qui si riferisce a quella corrente in mattoni. Nel calcolo della media sono stati esclusi i valori estremi.											media	3,27
											dev. St.	0,31
											% dev. St.	9,60
4	531	627	320	461	410	491	540	513	399	480	477,20	3,67
5	644	568	630	409	531	575	513	656	552	692	577,07	4,44
10	598	637	600	560	577	576	672	586	506	604	591,60	4,55
12	232	274	316	263	216	330	378	370	283	442	310,52	2,39
13	516	286	473	510	424	289	548	435	424	359	426,33	3,28
15	482	283	468	437	475	454	446	439	264	478	422,64	3,25
N.B.: Le prove sono state distinte tra quelle eseguite sulla muratura di mattoni corrente, mattoni su pilastri e quella in pietra listata. Qui si riferisce a quella in mattoni su pilastri. Nel calcolo della media sono stati esclusi i valori estremi.											media	3,69
											dev. St.	0,61
											% dev. St.	16,44
3	334	373	405	522	506	538	465	575	386	656	475,87	3,66
11	476	481	499	416	502	364	460	497	468	491	465,40	3,58
N.B.: Le prove sono state distinte tra quelle eseguite sulla muratura di mattoni corrente, mattoni su pilastri e quella in pietra listata. Qui si riferisce a quella in pietra listata. Nel calcolo della media sono stati esclusi i valori estremi.											media	3,62
											dev. St.	0,06
											% dev. St.	1,57

Quadro comparativo dei risultati



APPENDICE 4

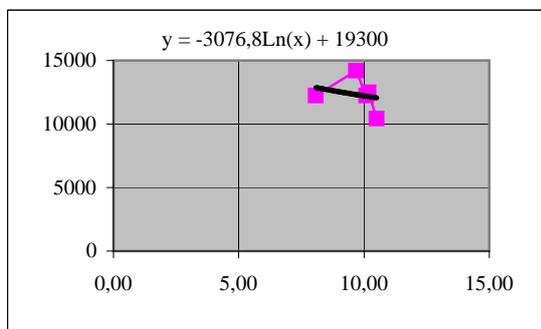
ELABORAZIONI NUMERICHE DELLE PROVE SCLEROMETRICHE SU ELEMENTI IN LEGNO

Elaborazioni delle prove di penetrazione tramite sclerometro per legno

Prova	Specie legnosa	Misura al comparatore [mm]			Penetrazione dell'ago [mm]			Media [mm]	Resistenza a flessione [MPa]	Modulo di elasticità a flessione [MPa]	Note
1	Rovere	21,28	20,33	19,36	22,72	23,67	24,64	23,68	58,0	9563	trave rozzamente squadrata
2	Rovere	20,70	18,74	18,02	23,30	25,26	25,98	24,85	56,8	9415	superficie trattata
media:									57,4	9489,1	
Dev. std.:									0,8	104,6	
Dev. Std. %:									1,4	1,1	

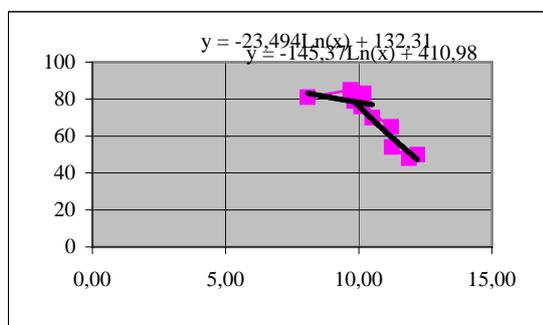
Curve di riferimento delle caratteristiche meccaniche ricavate da prove sperimentali su campioni:

Modulo elastico	
Rovere	
penetrazione	Em
8,08	12236
9,68	14194
10,10	12236
10,18	12493
10,51	10437



lunghezza dell'ago	spessore cuffia di protezione
50	6

Resistenza a flessione	
Rovere	
penetrazione	Rfm
8,08	81
9,68	85
10,10	76
10,18	83
10,51	70



APPENDICE 5

**RAPPORTO DI PROVA N°197NC DEL 10/10/2010 DEL
LABORATORIO DELTA SRL DI LUCCA RELATIVO A PROVE
EFFETTUATE SUI CALCESTRUZZI**



LABORATORIO PROVE MATERIALI DA COSTRUZIONE
CONGLOMERATI CEMENTI/AI ACCIAI, LATERIZI
GEOTECNICA, AGGREGATI CONGLOMERATI
Concessione Ministero L.P.S. del 03/03/07
0110 del 07/11/05

Accreditato Associazione Italiana Esperti in Edilizia

LABORATORIO DELTA S.p.A.
Via Savonarola 105 a Lucca
Tel. 0583 419226 - 583326, FAX 419347

E-mail: info@laboratoriodelta.it
web: laboratoriodelta.it
PIVA 007171049

RAPPORTO DI PROVA N° 197nc DEL 10/02/2010

INDAGINI PRESSO IL FABBRICATO EX-MANIFATTURA LUCCA

1 – Introduzione

Su incarico del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Provveditorato Interregionale per le OO.PP. Toscana Umbria Firenze, a supporto delle progettazioni del PIUSS del Comune Lucca, è stata eseguita una indagine sulle strutture in cemento armato all'interno del fabbricato ex Manifattura di Lucca. Sono state presi in esame 4 elementi strutturali facenti parte dell'intervento 8 Contrasto a Disagio e 2 elementi dell'intervento 3 Arti e Spettacolo. Gli elementi da indagare sono stati scelti il giorno 01/02/2010 in fase di sopralluogo col geom. Dell'Orfanello. Le indagini sono state eseguite il giorno 08/02/2010 dai tecnici dott. G.Medici e geom. S.Tosi.

2 – Attrezzatura impiegata

- ° pacometro Proceq Scanlog 534021
- ° sclerometri "tipo Schmidt" Controls e Pasi
- ° apparecchio ad ultrasuoni Controls 58E49
- ° catotarice leggera HLT1 DD 100

3 – Quadro normativo

UNI EN 12504-1 Prove sul calcestruzzo nelle strutture - carote: prelievo esame e prove di compressione

UNI EN 12390-3 Prove sul calcestruzzo indurito - Resistenza alla compressione di provini

UNI EN 12504-2 Prove sul calcestruzzo nelle strutture – Determinazione dell'indice sclerometrico

UNI EN 12504-4 Prove sul calcestruzzo nelle strutture – Velocità di propagazione delle onde ultrasoniche

Regione Toscana - Programma Regionale Vulnerabilità Sismica Edifici in Cemento Armato – VSCA



LABORATORIO PROVE MATERIALI E DA COSTRUZIONI
CONGLOMERATI CEMENTIZI, ACCIAI, LATERIZI
GEOTECNICA, AGGREGATI, CONGLOM. BITUMINOSI

Concessione Ministeriale L. 488 del 03/03/08 e
51110 del 07/11/05

ASSOLIG Associazione Laboratori Ingegneria e Geotecnica

LABORATORIO DELTA S.r.l.
Via Savonarola 106 a,b,c
TEL. 0583 419226, 583326, FAX 419347

E-mail: info@laboratoriodelta.it
web: laboratoriodelta.it
P.IVA 00427710468

3 – Scopo delle prove

Le indagini con metodologia non distruttiva Sonreb permettono la stima della resistenza cubica del calcestruzzo degli elementi strutturali in esame.

Dopo la pulitura da intonaco, verniciatura o altro, si individua col pacometro la posizione sia delle barre di armatura longitudinali che di almeno due staffe contigue.

Si disegna la posizione dei ferri sull'elemento ottenendo un reticolo di indagine.

La prima zona utile è identificata nel quadrante in basso e viene contrassegnata con la lettera B; la seconda zona di prova è individuata sul quadrante immediatamente superiore ed è contrassegnata con la lettera A.

L'operazione è ripetuta sul lato opposto dell'elemento, in posizione simmetrica; le zone di indagine sono contrassegnate con B' a A'.

Si inizia con l'esecuzione di 12 battute sclerometriche per ciascuna zona d'indagine individuata entro i quattro quadranti.

Successivamente si determina la velocità di propagazione delle onde ultrasoniche negli allineamenti A-A' e B-B'; la combinazione di questi risultati tramite alcune formule note in letteratura permette di ottenere la stima della resistenza cubica in sito.

4 – Carote di calcestruzzo

Il prelievo di alcune carote e le relative prove di laboratorio permetteranno una stima più accurata della resistenza del calcestruzzo.

Le carote saranno prelevate dagli elementi prescelti normalmente lungo l'allineamento A-A'; in laboratorio sarà determinata inizialmente la profondità di carbonatazione con soluzione di fenolfaleina e la velocità di propagazione delle onde ultrasoniche.

Saranno quindi ricavati campioni cilindrici da sottoporre a prova di compressione, previa rettifica delle facce. Per ultimo si valuterà la tipologia e la dimensione massima dell'inerte presente nel calcestruzzo.

il tecnico
geom. S. Marchesini

il direttore del laboratorio
dott. arch. F. Biagioni

n° scheda	UNI EN 12504-2 DETERMINAZIONE DELL'INDICE SCIEROMETRICO										UNI EN 12504-4 VELOCITA' DI PROPAGAZIONE DELLE ONDE ULTRASONICHE													
	SIGLA ELEMENTO	DATA PROVE	ZONA	INDICE DI RIMBALZO S					MEDIA 10 V.	ZONA	DIST.SOND E CM	TEMPI	ATTRAVERSAMENTO μ S	VELOCITA' M/S	VEL. MEDIA M/S									
1	P/P1/1/SO-C	08/02/10	A	40	38	37	40	42	39	39	44	46	46	41	A-A'	36,0	114,8	115,7	116,0	3135,9	3111,5	3103,4		
				41	39	38	37	39	38	37	40	40	39											
			A'	39	35	35	39	36	35	37	37	36	35	36										
				B'	37	38	40	34	37	37	38	37	36	37									37	
			B	36	36	35	33	35	34	34	34	36	33	35										
	A'	39		34	36	38	39	38	33	35	40	39	37											
	2	P/P1/2/SC	08/02/10	A	36	36	35	33	35	34	34	34	36	33	35	A-A'	36,0	103,1	104,2	103,5	3491,8	3454,9	3478,3	
					39	34	36	38	39	38	33	35	40	39	37									
				B	36	37	38	34	33	35	36	38	32	36	36									
					B'	39	39	40	44	39	37	44	39	38	38									40
A				38	35	37	38	33	35	38	36	37	39	37										
		B	38	36	38	38	36	35	40	35	38	37												
3		P/P1/2/SO-C	08/02/10	A	34	34	33	34	32	35	34	33	36	34	34	A-A'	40,4	102,8	103,0	-	-	3930,0	3922,3	
					34	34	33	34	32	35	34	33	36	34	34									
				B	35	35	35	36	35	36	35	35	37	35	35									
					B'	35	35	35	36	35	36	35	35	37	35									
	A			39	34	36	36	38	36	37	38	38	36	37										
		B	37	33	30	32	36	30	34	32	36	32	33											
	4	P/P1/1/SC	08/02/10	A	32	32	36	34	32	31	36	38	34	34	A-A'	15,0	44,4	44,5	44,5	3378,4	3370,8	3370,8		
					32	36	34	36	34	32	31	36	38	34									34	
				B	36	34	38	37	35	33	35	37	37	36									36	
					B'	36	34	38	37	35	33	35	37	37									36	
A				39	34	36	36	38	36	37	38	38	36	37										
		B	37	33	30	32	36	30	34	32	36	32	33											
5		P/P1/1/SC	08/02/10	A	32	32	36	34	32	31	36	38	34	34	A-A'	15,0	46,2	45,5	46,0	3246,8	3296,7	3260,9		
					32	36	34	36	34	32	31	36	38	34									34	
				B	36	34	38	37	35	33	35	37	37	36									36	
					B'	36	34	38	37	35	33	35	37	37									36	
	A			39	34	36	36	38	36	37	38	38	36	37										
		B	37	33	30	32	36	30	34	32	36	32	33											
	6	P/P1/1/SC	08/02/10	A	32	32	36	34	32	31	36	38	34	34	A-A'	15,0	46,2	45,5	46,0	3246,8	3296,7	3260,9		
					32	36	34	36	34	32	31	36	38	34									34	
				B	36	34	38	37	35	33	35	37	37	36									36	
					B'	36	34	38	37	35	33	35	37	37									36	
A				39	34	36	36	38	36	37	38	38	36	37										
		B	37	33	30	32	36	30	34	32	36	32	33											

NOTE: scheda 6 velocità di trasmissione delle onde ultrasoniche rilevata con lettura semi-diretta

n° scheda	UNI EN 12504-2 DETERMINAZIONE DELL'INDICE SCLEROMETRICO										UNI EN 12504-4 VELOCITA' DI PROPAGAZIONE DELLE ONDE ULTRASONICHE																														
	SIGLA ELEMENTO	DATA PROVE	ZONA		INDICE DI RIMBALZO S					MEDIA 10 V.	ZONA	DIST.SOND E CM	TEMPI ATTRAVERSAMENTO μS	VELOCITA' M/S	VEL. MEDIA M/S																										
3	T/P1/2/SC	08/02/10	A	39	34	40	33	32	40	38	34	30	34	35	A-A'	26,0	67,2	67,0	67,3	3869,0	3880,6	3863,3																			
				39	34	37	40	38	37	34	42	36	38																												
			A'	32	41	31	37	35	35	35	35	33	32	35									B-B'	26,0	65,6	65,0	65,5	3963,4	4000,0	3969,5											
				40	40	41	38	40	36	41	38	41	40	40																											
			4	T/P1/2/SO-c	08/02/10	A	40	41	41	33	36	38	38	36																	38	36	38	A-A'	25,0	75,7	76,0	75,2	3302,5	3289,5	3324,5
							33	38	34	39	35	40	36	36																	32	36									
B	40	41				41	43	37	40	35	40	40	34	39	B-B'	25,0	74,7	75,0	74,5	3346,7	3333,3	3355,7																			
	46	48				42	48	48	40	37	36	41	41	43																											
											3325,4																														

n° scheda	CARATTERISTICHE DELLE CAROTE ESTRATTE										UNI EN 12390-3 PROVE DI COMPRESSIONE DI CAMPIONI DI CALCESTRUZZO							
	SIGLA ELEMENTO	DATA DEL PRELIEVO	ALLINEAM.	H CM.	TIPO INERTE	Ø MAX CM	V.UIT.LAB. M/S	CARBONATAZ. E cm	U cm	Ø MM	H MM	SEZ. MM²	MASSA VOL. G	RES. COMP. N/MM²	TIPO ROTTURA	DATA PROVE	TIPO RETTIFICA	RES. CUBICA N/MM²
1	p/pt1/1/SG-C	08/02/10	A-A'	35,5	fiume	3,5	3349,1	7,5	9,0	94	190	6940	2305	11,1	1	11/02/10	R.Ep.	13,4
6	p/pt1/2/SO-C	08/02/10	A-A'	17,0	misto	2,5	3455,3	5,5	0,0	94	94	6940	2299	32,1	1	23/12/09	R.Ep.	32,1

NOTE: Tipologia inerte: di fiume, di cava, misto

Carbonatazione: Entrata corona cm - U uscita corona cm

Altezza e massa del provino: prima della rettifica

Tipo di rottura: 1 normale, 2 anormale

Tipo di rettifica: M = meccanica, R.Ep. cappatura di resine epossidiche

Campioni scheda 1 resistenza cubica = resistenza cilindrica/0,83 (NTC DM14/01/08 punto 11.2.10.1)

n° scheda	CARATTERISTICHE DELLE CAROTE ESTRATTE										UNI EN 12390-3 PROVE DI COMPRESSIONE DI CAMPIONI DI CALCESTRUZZO							
	SIGLA ELEMENTO	DATA DEL PRELIEVO	ALLINEAM.	H CM.	TIPO INERTE	Ø MAX CM	V.ULT.LAB. M/S	CARBONATAZ. E cm	U cm	Ø MM	H MM	SEZ. MM²	MASSA VOL. G	RES. COMP. N/MM²	TIPO ROTTURA	DATA PROVE	TIPO RETTIFICA	RES. CUBICA N/MM²
4	-/P1/1/SO	08/02/10	A-A'	25,0	fiume	3,5	3937,0	4,5	5,5	94	188	6940	2276	16,3	1	11/02/10	R.Ep.	19,6

NOTE: Tipologia inerte: di fiume, di cava, misto

Carbonatazione: E entrata corona cm - U uscita corona cm

Altezza e massa del provino: prima della retifica

Tipo di rottura: 1 normale, 2 anormale

Tipo di retifica: M = meccanica, R.Ep. cappatura di resine epossidiche

Resistenza cubica = resistenza cilindrica/0,83 (NTC DM14/01/08 punto 11.2.10.1)



LABORATORIO PROVE MATERIALE DA COSTRUZIONE
CONGLOMERATI CEMENTIZI ACCIAI, LATERIZI INFRATTI

Circolare 346/STC Ministero delle Infrastrutture
Decreto di Concessione n° 1488 del 03/07/2008

LABORATORIO DELTA S.r.l.
VIA SAVONAROLA 106 a,b 55100 LUCCA
TEL 0583 419226 583326 FAX 0583 419347
E-Mail info@laboratoriodelta.it
www.laboratoriodelta.it

RAPPORTO DI PROVA 197/1/nc DEL 10/02/2010

UNI EN ISO 12390-3 (05/2009)

PROVA DI COMPRESIONE DI CAMPIONI DI CALCESTRUZZO

Pagina n° 1 di 1

Rilasciato a: Ministero delle Infrastrutture
Indirizzo: Provveditorato Interregionale per le OO.PP. Toscana Umbria Firenze
Cantiere: PIUSS Lucca Centro Intervento 8 Contrasto al Disagio

Proprietà: -
Impresa esecutrice: -
Direttore dei Lavori delle Strutture: n.d. Pratica URTAT

Materiale consegnato: 3 campioni cilindrici ricavati da carole di calcestruzzo prelevate dal personale del laboratorio Rif. VA: 246nc del 09/02/10

Caratteristiche materiale: Rck - Titolo cemento: - Dosaggio kg/m³ - Verbale prelievo:

Note: Campioni e Dati forniti dal Committente. Lettera di richiesta prove sottoscritta dal Direttore dei Lavori: SI

DATI DICHIARATI DA COMMITTENTE			RISULTATI DELLE PROVE									
Camp. n°	Sigla e posizione in opera del campione	Data del prelievo	Dimensioni del campione - mm			Area comp. mm ²	Peso g	Massa volumica kg/m ³	Carico di rottura kN	Resistenza a compressione N/mm ² (MPa)	Tipo di rottura (*)	Data delle prove
			x (lun.)	y (Ø)	z (alt.)							
1	1) P/P1/1/ISO-C	-	-	94,0	190,0	6.940	3040	2.305	77,0	11,1	A	10/02/10

Macchina di prova Controls mod. C58E n°serie 04828512. Certificato di taratura STR48/09 del 19/05/09 rilasciato da Università degli Studi di Firenze dip.Ingegneria Civile

Splenatura delle facce con cattura

(*) Tipo di Rottura: A = soddisfacente A1 Esplosiva B = non soddisfacente: -

1 MPa = 1 N/mm²

lo Sperimentatore
geom. M.Lucchesi

il Direttore del Laboratorio
dott. arch. F.Biagioni



LABORATORIO PROVE MATERIALE DA COSTRUZIONE
CONGLOMERATI CEMENTIZI, ACCIAI LATERIZI, INFERRI

Circolore 346/STC Ministero delle Infrastrutture
Decreto di Concessione n° 1488 del 03/03/2008

LABORATORIO DELTA S.r.l.
VIA SAVONAROLA 106 a,b 55100 LUCCA
TEL. 0583 419226 583326 - FAX. 0583 419347
E-Mail info@laboratoriodelta.it
www.laboratoriodelta.it

RAPPORTO DI PROVA 197/2/nc DEL 10/02/2010

UNI EN ISO 12390-3 (05/2009)

PROVA DI COMPRESSIONE DI CAMPIONI DI CALCESTRUZZO

Pagina n° 1 di 1

Rilasciato a: Ministero delle Infrastrutture
Indirizzo: Provveditorato Interregionale per le OO.PP. Toscana Umbria Firenze

Cantiere: PIUSS Lucca Centro Intervento 8 Contrasto al Disagio

Proprietà: -
Impresa esecutrice: -
Direttore dei Lavori delle Strutture: n.d. Pratica URTAT

Materiale consegnato: 3 campioni cilindrici ricavati da carote di calcestruzzo prelevate dal personale del laboratorio Rif. VA: 246nc del 09/02/10

Caratteristiche materiale: Rck - Titolo cemento: - Dosaggio kg/m³ - Verbale prelievo:

Note: Campioni e Dati forniti dal Committente. Lettera di richiesta prove sottoscritta dal Direttore dei Lavori: SI

DATI DICHIARATI DA COMMITTENTE			RISULTATI DELLE PROVE									
Camp. n°	Sigla e posizione in opera del campione	Data del prelievo	Dimensioni del campione - mm			Area comp. mm²	Peso g	Massa volumica kg/m³	Carico di rottura kN	Resistenza a compressione N/mm² (MPa)	Tipo di rottura (*)	Data delle prove
			x (lun.)	y (ø)	z (all.)							
1	6) P/PT/2/SO-C	-	-	94,0	94,0	6.940	1500	2.299	223,0	32,1	A	10/02/10

Macchina di prova Controls mod. C58E n°serie 04828512. Certificato di taratura STR48/09 del 19/05/09 rilasciato da Università degli Studi di Firenze dip. Ingegneria Civile

Spianatura delle facce con cappatura

(*) Tipo di Rottura: A = soddisfacente A1 Esplosiva B = non soddisfacente: -

1 MPa = 1 N/mm²

lo Sperimentatore
geom. M.Lucchesi

il Direttore del Laboratorio
dott. arch. F.Biagioni



LABORATORIO PROVE MATERIALI DA COSTRUZIONI
CONSO. GENERALI CEMENTI, ACCIAI, CALCESTRUZZO, IMBOTTITI
Credito - Servizi - Assistenza della Infrastruttura
Divisione di Calcestruzzo n° 1155 del 01/01/2005

LABORATORIO DELTA S.p.A.
VIA SAVIGNAROLA 106 a/b - 55100 LUCCA
TEL. 0583 419326-551026 - FAX 0583 419347
E-Mail: info@laboratoriodelta.it
www.laboratoriodelta.it

RAPPORTO DI PROVA 197/3/nc DEL 10/02/2010 UNI EN ISO 12390-3 (05/2009)

PROVA DI COMPRESSIONE DI CAMPIONI DI CALCESTRUZZO

Pagina n° 1 di 1

Rilasciato a: Ministero delle Infrastrutture
Indirizzo: Provveditorato Interregionale per le OO.PP. Toscana Umbria Firenze
Cantiere: PIUSS Lucca Centro Intervento 3 Arti e Spettacolo
Proprietà: -
Impresa esecutrice: -
Direttore dei Lavori delle Strutture: n.d. Pratica URTAT
Materiale consegnato: 3 campioni cilindrici ricavati da carote di calcestruzzo prelevate dal personale del laboratorio Rif. VA: 246nc del 09/02/10
Caratteristiche materiale: Rck - Titolo cemento: - Dosaggio kg/m³ - Verbale prelievo:
Note: Campioni e Dati forniti dal Committente. Lettera di richiesta prove sottoscritta dal Direttore dei Lavori: SI

DATI DICHIARATI DA COMMITTENTE			RISULTATI DELLE PROVE									
Camp. n°	Sigla e posizione in opera del campione	Data del prelievo	Dimensioni del campione - mm			Area comp. mm ²	Peso g	Massa volumica kg/m ³	Carico di rottura kN	Resistenza a compressione N/mm ² (MPa)	Tipo di rottura (*)	Data delle prove
			x (lun.)	y (ø)	z (alt.)							
1	4) T/P1/1/SO-C		-	94,0	188,0	6.940	2970	2.276	113,3	16,3	A	10/02/10

Macchina di prova Controls mod. C58E n°serie 04828512. Certificato di taratura STR48/09 del 19/05/09 rilasciato da Università degli Studi di Firenze dip. Ingegneria Civile

Spianatura delle facce con cappatura

(*) Tipo di Rottura: A = soddisfacente A1 Esplosiva B = non soddisfacente: -

1 MPa = 1 N/mm²

lo Sperimentatore
geom. M.Lucchesi

il Direttore del Laboratorio
dott. arch. F.Biagioni

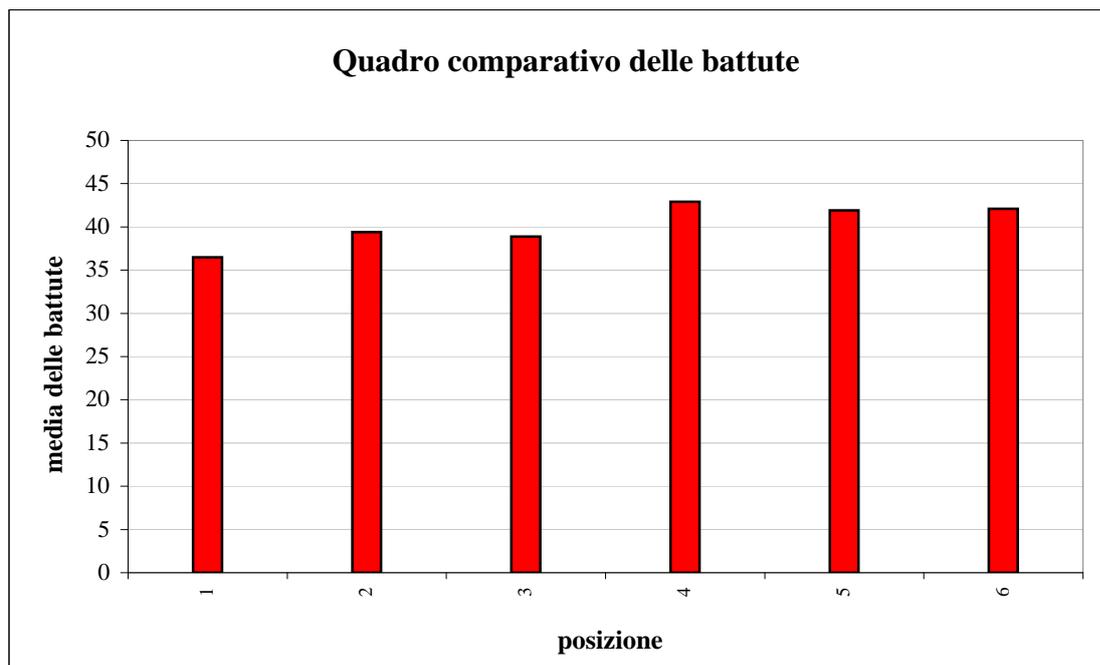
APPENDICE 6

ELABORAZIONI SONREB DELLE PROVE SCLEROMETRICHE ED ULTRASONICHE COMBinate SU ELEMENTI IN C.A.

Elaborazioni delle prove di rimbalzo tramite sclerometro

pos.	Risultati delle battute										media	Dev. std	note
1	37	36	38	37	34	35	36	38	34	40	36,5	1,8	Piano terra, placcaggio di pilastro in muratura
2	40	39	42	40	41	39	38	38	40	37	39,4	1,4	Piano primo, secondo pilastro in ca da Nord (zona prelievo)
3	38	41	40	37	41	39	40	40	37	36	38,9	1,7	Piano primo, terzo pilastro in ca da Nord
4	44	47	44	42	41	43	44	43	41	40	42,9	1,9	Piano secondo, primo pilastro in ca da Nord
5	42	44	42	40	40	41	43	44	43	40	41,9	1,5	Piano secondo, quarto pilastro in ca da Nord
6	45	40	43	43	42	42	44	40	41	41	42,1	1,6	Piano secondo, primo pilastro in ca da Sud
media delle medie:											41,13		
Dev.std.											1,50		
Dev.std.%											3,7		

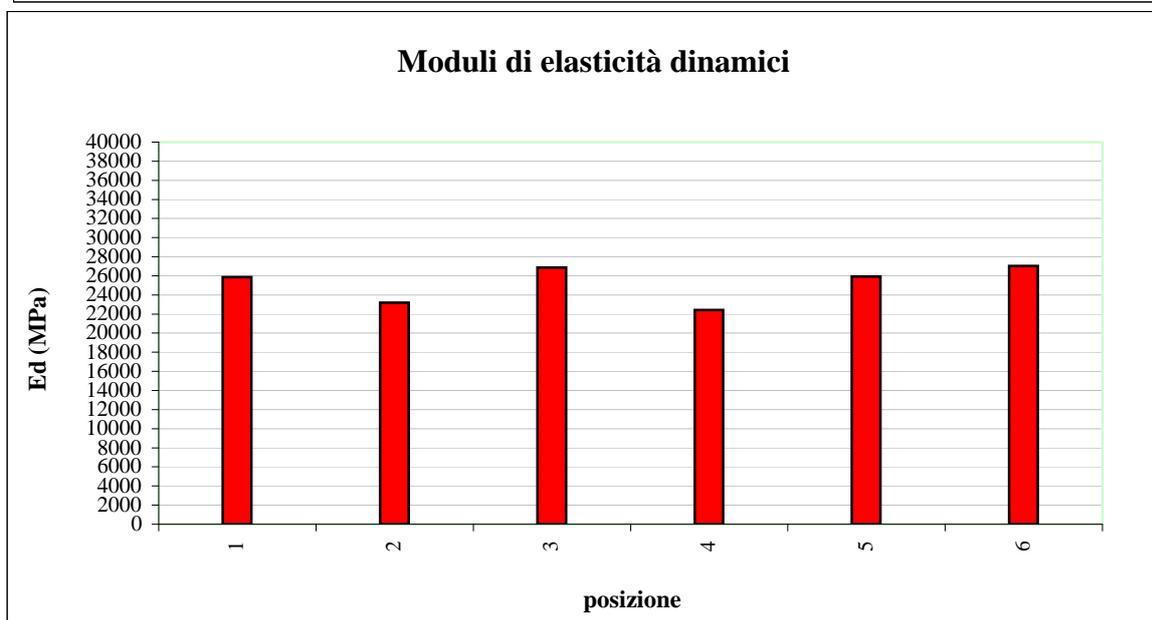
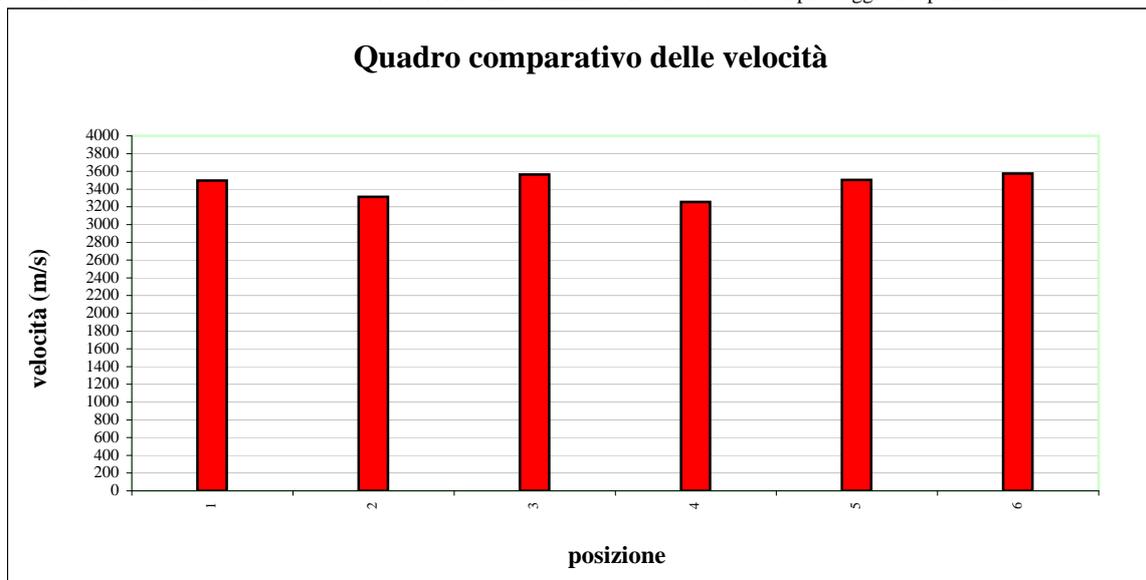
il calcolo delle medie è stato effettuato escludendo i valori massimo e minimo e il valore relativo al placcaggio nel piano terra



Elaborazioni rilievi microsismici mediante impulsi d'onda ad alta frequenza

posizione	distanza sonde [m]	tempo di ritardo [μs]	Peso del materiale [daN/m ³] (*)	coefficiente di Poisson dinamico	velocità [m/s]	modulo elastico dinamico [MPa]	note
1	1,000	285,9	2305	0,20	3498	25871	Piano terra, placcaggio di pilastro in muratura
2	0,355	107,2			3312	23191	Piano primo, secondo pilastro in ca da Nord (zona prelievo)
3	0,355	99,6			3564	26865	Piano primo, terzo pilastro in ca da Nord
4	0,310	95,2			3256	22423	Piano secondo, primo pilastro in ca da Nord
5	0,310	88,5			3503	25947	Piano secondo, quarto pilastro in ca da Nord
6	0,310	86,7			3576	27035	Piano secondo, primo pilastro in ca da Sud
media:					3459,55	25333,99	
Dev.std.					131,8	1912,2	
Dev.std.%					3,8	7,5	

il calcolo delle medie è stato effettuato escludendo i valori massimo e minimo e il valore relativo al placcaggio nel piano terra



Elaborazioni SONREB (metodo combinato)

posizione	I. R. [N]	V [m/s]	R _{std} [MPa]	Ct	R [Mpa]	note
1	36,5	3498	19,38	0,97196	24,59	Piano terra, placcaggio di pilastro in muratura
2	39,4	3312	18,71		18,18	Piano primo, secondo pilastro in ca da Nord (zona prelievo)
3	38,9	3564	22,25		21,62	Piano primo, terzo pilastro in ca da Nord
4	42,9	3256	20,17		19,61	Piano secondo, primo pilastro in ca da Nord
5	41,9	3503	23,59		22,93	Piano secondo, quarto pilastro in ca da Nord
6	42,1	3576	25,05		24,35	Piano secondo, primo pilastro in ca da Sud
media:	41,13	3459,55	22,00		21,39	
Dev.std.	1,50	131,79	1,72		1,68	
Dev.std.%	3,66	3,81	7,84		7,84	

il calcolo delle medie è stato effettuato escludendo i valori massimo e minimo e il valore relativo al placcaggio nel piano terra

La resistenza del calcestruzzo è data dalla seguente relazione: $R = R_{std} \times Ct$, con:

$$R_{std} = (7,695 \cdot 10^{-11}) \cdot V^{2,6} \cdot N^{1,4} \quad [\text{MPa}]$$

$$Ct = Cc \times Cd \times Ci \times Cg \times C\phi \times C_{add}$$

in cui:

$Cc = 0,94$	coefficiente d'influenza del tipo di cemento (cemento 425 Pt = 1,00 ; cemento 325 Pz = 0,94 ; cemento 325 Pt = 0,94)
$Cd = 0,94$	coefficiente d'influenza del dosaggio di cemento (300 daN/m ³ = 0,88 ; 350 daN/m ³ = 0,94 ; 400 daN/m ³ = 1,00 ; 450 daN/m ³ = 1,06 ; 500 daN/m ³ = 1,12 ; 600 daN/m ³ = 1,24)
$Ci = 1,00$	coefficiente d'influenza della natura dell'inerte (calcareo = 1,00 ; serpentino = 1,35 ; diaspro = 1,38 ; alluvionale = dipende dalla V degli ultrasuoni)
$Cg = 1,00$	coefficiente d'influenza della frazione fine 0-1 mm dell'inerte (8% = 0,91 ; 14% = 0,94 ; 20% = 0,97 ; 26% = 1,00 ; 32% = 1,03 ; 38% = 1,05 ; 44% = 1,07)
$C\phi = 1,10$	coefficiente d'influenza del diametro massimo dell'inerte (7mm = 1,09 ; 15mm = 1,03 ; 30mm = 1,00 ; 70:80mm = 0,96)
$C_{add} = 1,00$	coefficiente d'influenza di alcuni additivi (in mancanza di dati sperimentali si considera 1)

Quadro comparativo dei risultati

