

POLITECNICO DI MILANO



Facoltà di Architettura

Corso di Laurea Magistrale in Progetto e Riquilifica dell'esistente, classe RE8

Anno Accademico 2009/2010

***STUDIO DELLO STATO DI DANNEGGIAMENTO DEL COMPLESSO DI SAN BIAGIO E
SAN GIUSEPPE DEI MINIMI A L'AQUILA COLPITO DAL SISMA DEL 6 APRILE 2009***

Relatore: Prof. Lorenzo CANTINI

Correlatrici: Prof.^{ssa} Luigia BINDA
Prof.^{ssa} Paola CONDOLEO

Correlatore Alta Scuola Politecnica: Prof. Mario A. CHIORINO

TESI di LAUREA di:

Claudia GERVASONI_735567

Nadia R. G. ORTOLAN_735823



INDICE

INTRODUZIONE	13
a_Abstract	13
b_Introduzione	13
CAPITOLO 1 - <i>L'Aquila: le origini, l'evoluzione storica e gli eventi sismici</i>	17
a_Le origini	17
b_Evoluzione della città nei secoli	18
b.1_Fondazione, ricostruzione ed ascesa della città	18
b.2_Il medioevo	20
b.3_Dal Periodo d'oro alla decadenza	21
b.4_Il settecento	22
b.5_L'Aquila in Italia e in Abruzzo	23
b.6_Le vicende attuali	24
c_Sismicità dell'area aquilana	25
d_Terremoti storici nell'area colpita dal sisma del 6 Aprile 2009	26
d.1_I terremoti del medioevo	27
d.2_Il terremoto del 1461	27
d.3_Il terremoto del 1703	28
d.4_Il terremoto del 6 Aprile 2009	28
e_Edifici storici, tipologie murarie e danno nell'aquilano	30
f_Tipologie costruttive	32
f.1_La chiesa	33
BIBLIOGRAFIA	37
SITOGRAFIA	37
CAPITOLO 2 – <i>La chiesa di san Biagio e l'oratorio di san Giuseppe dei Minimi nel centro storico dell'Aquila: caratteristiche degli edifici e loro stato di conservazione dopo il sisma del 6 Aprile 2009</i>	39
a_Origine ed evoluzione della chiesa di San Biagio	39
a.1_Inquadramento urbano	39
a.2_Evoluzione storica	39

a.3_Descrizione del manufatto pervenutoci	43
a.4_Tecniche costruttive	47
a.5_Provvedimenti storici per migliorare la risposta al sisma	49
a.6_Gli interventi recenti di restauro	50
a.7_Danni in occasione del sisma del 6 Aprile 2009	52
b_Origine ed evoluzione dell'Oratorio di san Giuseppe dei Minimi	54
b.1_Inquadramento urbano	54
b.2_Evoluzione storica	54
b.3_Descrizione del manufatto pervenutoci	57
b.4_Tecniche costruttive	59
b.5_Provvedimenti storici per migliorare la risposta al sisma	61
b.6_Gli interventi recenti di restauro	62
b.7_Danni in occasione del sisma del 6 Aprile 2009	62
BIBLIOGRAFIA	65
SITOGRAFIA	65
CAPITOLO 3 – <i>Tutela degli edifici in zona sismica</i>	67
a_Riflessioni sul restauro conservativo	67
b_Storia della normativa antisismica e quadro normativo vigente per la tutela degli edifici storici in zona sismica	69
c_Rischio sismico e tutela degli edifici storici	76
BIBLIOGRAFIA	80
RIFERIMENTI NORMATIVI	81
CAPITOLO 4 – <i>Approccio metodologico al caso dell'Aquila</i>	83
a_Conservazione come attività di conoscenza	83
b_Rilievo dei danni provocati dal terremoto: schede GNDT e Linee Guida fornite dal Ministero per i Beni e le Attività Culturali	84
b.1_Vulnerabilità sismica e prevenzione del rischio: attività di ricerca e quadro normativo	84
b.2_Le Linee Guida per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni	88
b.3_Le schede per il rilievo del danno e della vulnerabilità sismica	89
b.4_Scheda per il rilievo del danno ai beni culturali – chiesa di san Biagio Amiternum	95
b.5_Scheda per il rilievo del danno ai beni culturali – oratorio di san Giuseppe dei Minimi	102
c_Le chiese aquilane: elementi di vulnerabilità e di presidio antisismico	109

d_Indicazioni dei meccanismi di collasso contenute nella scheda per il rilievo dei danni della chiesa di San Biagio Amiternum e dell'Oratorio di san Giuseppe dei Minimi **111**

d.1_Meccanismo di ribaltamento della facciata	111
d.2_Meccanismo di danneggiamento della vela campanaria	113
d.3_Meccanismo di danneggiamento del colonnato	113
d.4_Meccanismo di taglio nelle pareti laterali (risposta longitudinale)	114
d.5_Sollecitazione in direzione trasversale	115
d.6_Meccanismo di danneggiamento delle volte delle navate laterali	116

BIBLIOGRAFIA **117**

SITOGRAFIA **117**

CAPITOLO 5 – Prove in sito per la caratterizzazione delle strutture portanti **119**

a_Verifica del rilievo e del quadro fessurativo **122**

b_Studio della morfologia dell'apparecchio murario **122**

b.1_Prove termografiche	122
Principi generali	123
Modalità di prova	123
Limiti e problematiche	124
b.2_Prove soniche	125
Principi generali	125
Modalità di prova	127
Limiti e problematiche	130
b.3_Prove georadar	130
Principi generali	130
Modalità di prova	132
Limiti e problematiche	134
b.4_Prove tomografiche soniche e radar	134
Tomografia sonica	135
Tomografia radar	136
b.5_Carotaggi, endoscopie, videoendoscopie, ispezioni della sezione muraria	137
Endoscopie	137
Carotaggi	138
Videoendoscopie	139
Ispezioni della sezione muraria	139

c_Misura di alcuni parametri meccanici **140**

c.1_Prova con martinetto piatto singolo	140
---	-----

Principi generali	140
Modalità di prova	141
Limiti e problematiche	144
c.2_Prova con martinetti piatti doppi	145
Principi generali	145
Modalità di prova	146
Limiti e problematiche	148
d_Identificazione dinamica	148
BIBLIOGRAFIA	151
SITOGRAFIA	152
NORMATIVA DI RIFERIMENTO	152
CAPITOLO 6 – Armonizzazione dei risultati	153
a_Localizzazione delle prove	153
b_Controllo del rilievo geometrico e del quadro fessurativo della chiesa di san Biagio	154
c_Analisi dei possibili meccanismi di collasso	155
c.1_Comportamento meccanico della sommità della facciata	156
c.2_Comportamento meccanico del colonnato	156
c.3_Comportamento meccanico delle volte laterali	157
c.4_Sollecitazione in direzione trasversale	158
d_Analisi del quadro fessurativo dell’oratorio di san Giuseppe dei Minimi	159
e_Analisi dei possibili meccanismi di collasso	159
e.1_Comportamento meccanico di facciata	159
e.2_Meccanismo di taglio nelle pareti laterali, risposta longitudinale	161
e.3_Comportamento meccanico dell’abside	162
f_Caratterizzazione delle murature della chiesa di san Biagio	163
f.1_Caratterizzazione della muratura della controfacciata della chiesa di san Biagio	163
Prova di termografia attiva SB-TL1	163
Prova sonica SB-SO1	164
Prove radar	165
Prova con martinetto singolo SB-J1S	168
Prova con martinetto doppio SB-J1D	169
Ispezione della sezione muraria	170
Carotaggio SB-A’’-C2 e video endoscopia SB-A’’-C2	171

Verifica ammorsamento AQ-SB-A4	172
Verifica ammorsamento AQ-SB-A5	173
Caratterizzazione delle malte	173
Commenti ai risultati	174
f.2_Caratterizzazione della muratura dell'abside della chiesa di san Biagio	175
Prove termografiche SB-TF1, SB-TF2 e SB-TE1	176
Prova sonica SB-SO2	177
Prove radar	178
Prova con martinetto singolo SB-J2S	180
Prova con martinetto doppio SB-J2D	181
Ispezione della sezione muraria	182
Saggi startigrafici delle superfici AQ-SBa1, AQ-SBa2, AQ-SBa3	183
Verifica ammorsamento AQ-SB-A8	184
Verifica ammorsamento AQ-SB-A2	184
Commenti ai risultati	184
f.3_Caratterizzazione della muratura perimetrale tra la chiesa di san Biagio e l'oratorio di san Giuseppe dei Minimi	186
Prova Termografica	186
Prova sonica OSG-SO8	186
Carotaggio e video endoscopia OSG-E6	187
Verifica ammorsamento AQ-SB-A6	188
Verifica ammorsamento AQ-SB-A7	189
Commenti ai risultati	189
f.4_Caratterizzazione della muratura perimetrale destra della chiesa di san Biagio	190
Verifica ammorsamento AQ-SB-A1	190
Verifica ammorsamento AQ-SB-A3	190
Carotaggio e video endoscopia SB-C''-C3	191
Commenti ai risultati	192
f.5_prove termografiche ed ispezione delle volte	192
Navata centrale	192
Navata laterale	193
f.6_Indagini radar sul pavimento della navata centrale	194
g_Caratterizzazione dei pilastri della chiesa di san Biagio	196
g.1_Caratterizzazione del pilastro B	196
Prove soniche SB-B-S1-3 e SB-B-S2-4	196

g.2_Caratterizzazione del pilastro C	198
Prove soniche SB-C-S1-3 e SB-C-S2-4	198
Carotaggio e videoendoscopia SB-C4-C2	199
Endoscopie SBC4-E3, SBC4-E5, SBC4-E6	200
Tomografia radar	201
g.3_Caratterizzazione del pilastro D	202
Prove soniche SB-D-S1-3 e SB-D-S2-4	202
Prove termografiche	203
Endoscopie SBD2-E1 e SBD2-E2	203
g.4_Caratterizzazione del pilastro E	204
Prove soniche SB-E-S1-3	204
g.5_Caratterizzazione del pilastro F	205
Prove soniche SB-F-S1-3	205
g.6_Caratterizzazione del pilastro G	205
Prove soniche SB-G-S1-3 e SB-G-S2-4	206
Prove termografiche SB-TG3 e SB-TG4	207
Prove radar	207
Tomografia radar	209
Endoscopia SB-G1-E4	209
Prova con martinetto piatto singolo SB-J3S	210
g.7_Caratterizzazione del pilastro H	211
Prove soniche SB-H-S1-3 e SB-H-S2-4	211
Prova termografica SB-TH3	212
Prove radar	212
Saggio stratigrafico AQ-SBSA4	214
Prova con martinetto piatto singolo SB-J4S	215
g.8_Caratterizzazione del pilastro I	216
Prove soniche SB-I-S1-3 e SB-I-S2-4	216
g.9_Commenti ai risultati	217
h_Prove di identificazione dinamica	220
i_Caratterizzazione delle murature dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi	221
i.1_Caratterizzazione della muratura della facciata dell'oratorio di san Giuseppe dei minimi	221
Prova sonora OSG-SO5	221
Prova sonora OSG-SO2	222

Prove radar OSG-OR1V	223
Carotaggio OSG-C2 e video-endoscopia OSG-E6	223
Video-endoscopia OSG-E7	224
Prova con martinetto piatto singolo MS1	225
Prova con martinetto piatto singolo MS2	225
Commenti ai risultati	226
i.2_Caratterizzazione della murature perimetrali dell'oratorio di san Giuseppe dei minimi	227
Prove termografiche OSG-T1, OSG-T2, OSG-T3, OSG-T4, OSG-T5	227
Prova sonora OSG-SO1	229
Prova sonora OSG-SO4	230
Prova sonora OSG-SO3	231
Prove radar OSG-OR2V, OSG-OR4V e abside	232
Carotaggio OSG-C1 e video-endoscopia OSG-E6	233
Endoscopia OSG-E1, OSG-E2, OSG-E3, OSG-E4, OSG-E5	234
Prova con martinetto piatto singolo MS3	236
Prova con martinetto doppio MD3	237
Prova con martinetto piatto singolo MS4	237
Prova con martinetto doppio MD4	237
Commenti ai risultati	238
I_Prove di identificazione dinamica	239
BIBLIOGRAFIA	241
SITOGRAFIA	242
NORMATIVA DI RIFERIMENTO	242
CONCLUSIONI – Conclusioni e indicazioni preliminari al progetto di intervento	243
a_Chiesa di San Biagio	243
b_Oratorio di san Giuseppe	246
ALLEGATI	249
Allegato 1: Prova sonora SB-SO1	249
Allegato 2: Prova con martinetto piatto singolo SB-J1S	251
Allegato 3: Prova con martinetto piatto doppio SB-J1D	252
Allegato 4: Prova sonora SB-SO2	253
Allegato 5: Prova con martinetto piatto singolo SB-J2S	255
Allegato 6: Prova con martinetto piatto doppio SB-J2D	257
Allegato 7: Prove soniche sul pilastro B	258

Allegato 8: Prove soniche sul pilastro C	261
Allegato 9: Prove soniche sul pilastro D	264
Allegato 10: Prove soniche sul pilastro E	267
Allegato 11: Prove soniche sul pilastro F	268
Allegato 12: Prove soniche sul pilastro G	269
Allegato 13: Prova con martinetto piatto singolo SB-J3S sul pilastro G	272
Allegato 14: Prove soniche sul pilastro H	274
Allegato 15: Prova con martinetto piatto singolo SB-J4S sul pilastro H	277
Allegato 16: Prove soniche sul pilastro I	279
Allegato 17: Prova sonica OSG-SO5	282
Allegato 18: Prova sonica OSG-SO2	284
Allegato 19: Prova sonica OSG-SO1	286
Allegato 20: Prova sonica OSG-SO4	288
Allegato 21: Prova sonica OSG-SO3	290

TAVOLE

Tavola 1: Rilievo del quadro fessurativo - pianta
Tavola 2: Rilievo del quadro fessurativo – prospetto nord
Tavola 3: Rilievo del quadro fessurativo – prospetto sud
Tavola 4: Rilievo del quadro fessurativo – prospetto ovest
Tavola 5: Rilievo del quadro fessurativo – prospetto est
Tavola 6: Rilievo del quadro fessurativo - abside
Tavola 7: Rilievo del quadro fessurativo – navata centrale sezione B-B
Tavola 8: Rilievo del quadro fessurativo – navata centrale sezione C-C
Tavola 9: Rilievo del quadro fessurativo – navata laterale sezione D-D
Tavola 10: Rilievo del quadro fessurativo – navata laterale sezione E-E
Tavola 11: Rilievo del quadro fessurativo - volte
Tavola 12: Rilievo del quadro fessurativo – pilastro A
Tavola 13: Rilievo del quadro fessurativo – pilastro B
Tavola 14: Rilievo del quadro fessurativo – pilastro C
Tavola 15: Rilievo del quadro fessurativo – pilastro D
Tavola 16: Rilievo del quadro fessurativo – pilastro E
Tavola 17: Rilievo del quadro fessurativo – pilastro F
Tavola 18: Rilievo del quadro fessurativo – pilastro G
Tavola 19: Rilievo del quadro fessurativo – pilastro H

- Tavola 20: Rilievo del quadro fessurativo – pilastro I**
- Tavola 21: Rilievo del quadro fessurativo – pilastro L**
- Tavola 22: Rilievo del quadro fessurativo – paraste A' e L'**
- Tavola 23: Rilievo del quadro fessurativo – paraste B'**
- Tavola 24: Rilievo del quadro fessurativo – paraste C'**
- Tavola 25: Rilievo del quadro fessurativo – paraste D'**
- Tavola 26: Rilievo del quadro fessurativo – paraste E'**
- Tavola 27: Rilievo del quadro fessurativo – paraste F'**
- Tavola 28: Rilievo del quadro fessurativo – paraste G'**
- Tavola 29: Rilievo del quadro fessurativo – paraste H'**
- Tavola 30: Rilievo del quadro fessurativo – paraste I'**
- Tavola 31: Schematizzazione dei risultati delle indagini diagnostiche**

INDICE DELLE ILLUSTRAZIONI	293
a_Indice delle immagini	293
b_Indice dei grafici	303
c_Indice delle tabelle	304



INTRODUZIONE

a_ Abstract.

During the earthquake that stroke L'Aquila on April 6th 2009, many modern and ancient buildings of the centre reported important damages or partially collapsed. The authors had the opportunity to work at the diagnostic campaign carried out by the church of St. Biagio in L'Aquila, in the centre of the city. This building presented a serious collapse of a portion of the facade and an extended crack pattern on other structures. Nevertheless its structures faced the actions produced by the seismic event in a proper way. This mechanical response demonstrates that frequently historic buildings realized with traditional construction techniques can resist to destructive natural events. The graduation work describes, mainly, the results obtained with an extensive experimental investigation applying NDTs and MDTs on the church of St. Biagio in L'Aquila, in order to evaluate the extension of structural damages and their causes, the materials quality and the structure characteristics. The investigation was aimed to support the structural analysis and the preparation of an appropriate design for intervention.

Durante il terremoto che colpì L'Aquila il 6 Aprile 2009, molti edifici moderni e antichi che si trovano nel centro della città riportarono danni significativi o collassi parziali. Gli autori di questa tesi hanno avuto la possibilità di partecipare attivamente alla campagna diagnostica effettuata sulla chiesa di San Biagio a L'Aquila, situata nel centro della città. Questo edificio presentava un serio collasso di una porzione di facciata e un esteso quadro fessurativo sulle strutture. Nonostante l'entità del terremoto, la struttura della chiesa ha risposto in modo ottimale all'evento sismico. Questa risposta meccanica è la dimostrazione che frequentemente gli edifici storici realizzati con tecniche costruttive tradizionali possano resistere a eventi distruttivi naturali. La tesi descrive principalmente i risultati ottenuti da una estesa campagna diagnostica, effettuata sulla chiesa di San Biagio a L'Aquila, al fine di valutare l'estensione e le cause dei danni subiti dalle strutture, indagare sulla qualità dei materiali in opera e sulle caratteristiche delle strutture stesse. La campagna diagnostica è stata di supporto per l'analisi strutturale e per la preparazione di un appropriato progetto di intervento.

b_ Introduzione.

Gli edifici che resistettero al terremoto che scosse L'Aquila, durante la notte del 6 Aprile 2009, furono costruiti con appropriate tecniche, conosciute e tramandate nei secoli, che garantirono loro di resistere nei secoli a diversi eventi di questo tipo. Grazie alle odierne tecniche diagnostiche si può valutare quali siano le caratteristiche di questi edifici e quale sia il loro stato di conservazione. In questa tesi, le autrici, hanno potuto partecipare a una vasta campagna diagnostica sulle strutture dell'antica chiesa di San Biagio e dell'annesso Oratorio di S. Giuseppe, situati nel centro della città de L'Aquila, nei pressi della Cattedrale.

Il terremoto danneggiò la chiesa principalmente nella zona alta della facciata, a causa del crollo del timpano. Altri danni riguardarono una parte della volta in legno della navata centrale e una fessurazione dei pilastri e delle absidi. Il resto della struttura resistette al terremoto: infatti la navata centrale e quelle laterali, gli absidi con le loro volte e la maggior parte del soffitto sono ancora in opera.

Il fatto che questo edificio, seppur danneggiato in alcune parti, non sia collassato sotto le azioni di un terremoto così forte, è la dimostrazione di come le antiche tecniche costruttive, il costruire secondo tradizione e soprattutto rispettando quell'insieme di indicazioni note come "regola d'arte", possa fornire agli edifici un elevato grado di sicurezza di fronte ad un sisma.

Per poter identificare e comprendere il comportamento della struttura della chiesa di San Biagio venne applicata una estesa campagna diagnostica, basata su prove non distruttive e poco distruttive, sia in situ che in laboratorio.

La tesi vuole principalmente illustrare le tecniche diagnostiche messe in atto e i risultati che queste tecniche hanno offerto. Per la corretta scelta delle prove da applicare, è stato necessario valutare le principali caratteristiche del complesso architettonico: dal suo sviluppo storico, studiato tramite la ricerca compiuta su diverse fonti d'archivio, al suo attuale stato di conservazione. In particolare il rilievo, e la successiva interpretazione del quadro fessurativo, ha fornito indicazioni utili per la definizione delle vulnerabilità delle strutture. In base a queste indicazioni sono stati scelti i punti in cui applicare diverse tecniche diagnostiche, il cui uso complementare si propone di fornire un'approfondita conoscenza delle diverse strutture di cui l'edificio si compone.

Tuttavia si è voluto dare un quadro più ampio alla questione, volendo prima studiare il contesto in cui la chiesa di San Biagio è sita, le caratteristiche di tale zona e soprattutto la sismicità del luogo, ripercorrendo i terremoti più disastrosi che quest'area ha dovuto subire.

Si è poi proceduto focalizzando l'attenzione sulle tipologie costruttive e di edifici che si trovano nell'aquilano, per meglio comprendere le tecniche edificatorie più diffuse e poter fare dei parallelismi sui casi rilevati e la chiesa in oggetto.

Inoltre, viene riportata una storia delle principali leggi emanate in Italia a seguito dei più disastrosi terremoti che colpiscono il Paese, in un arco temporale che ripercorre la storia legislativa anti-sismica prima dell'Unità d'Italia, fino a giungere alle norme dei beni culturali tutt'ora in vigore. Questo è stato fatto per stimolare una riflessione sulle indicazioni che la legge fornisce per intervenire su un bene storico danneggiato. In particolare, dopo l'emanazione delle Norme Tecniche, alle strutture storiche viene riconosciuta una certa complessità che necessita di approfonditi gradi di conoscenza per la definizione degli interventi. Questi, per poter essere compatibili con le strutture storiche esistenti e rispettosi delle loro caratteristiche, devono essere fondati su indicazioni di carattere qualitativo e quantitativo che solo un corretto progetto diagnostico può fornire.

L'approfondimento conoscitivo ha avuto inizio dall'analisi dello stato in cui si trovano oggi la chiesa di San Biagio e l'adiacente oratorio di San Giuseppe dei Minimi, ripercorrendo la loro storia, la loro evoluzione nei secoli, per arrivare a descrivere i danni rilevati dopo il terremoto (anche grazie ad un'analisi delle schede GNDT e allo studio delle Linee Guida fornite dal Ministero per i Beni e le Attività Culturali). Sulla base dell'estensione dei danni sono stati successivamente individuati i principali elementi di vulnerabilità e meccanismi di collasso delle chiese aquilane e in particolare di San Biagio.

La parte più ampia del lavoro di tesi propone la descrizione di tutte le indagini effettuate sia sulla chiesa che sull'oratorio e i risultati di tali prove armonizzati. Dal confronto dei risultati ottenuti da tecniche diagnostiche differenti emergono infatti le considerazioni più utili per l'interpretazione del funzionamento meccanico delle strutture architettoniche del complesso di San Biagio e San Giuseppe. Le tecniche d'indagine il cui uso combinato ha prodotto i risultati più indicativi sono: prove termografiche, prove

soniche, prove con martinetto piatto singolo e doppio. Per completezza verranno anche citati i risultati ottenuti da prove seguite da altri soggetti coinvolti nel lavoro, per i quali è stato comunque fornito un supporto operativo in cantiere. Le indagini in questione sono: prove RADAR, prove stratigrafiche, ispezioni localizzate delle sezioni murarie e prove dinamiche.

Il capitolo conclusivo propone poi dare delle indicazioni progettuali, dimostrando quanto le indagini diagnostiche siano essenziali per poter formulare ipotesi progettuali efficacemente supportate da un'approfondita conoscenza dei problemi da risolvere.



CAPITOLO 1

L'Aquila: le origini, l'evoluzione storica e gli eventi sismici.

a_ Le origini.

Il territorio dove sorge L'Aquila era abitato fin dai tempi più antichi. Prima della conquista da parte di Roma tutta la valle dell'Aterno è stato luogo di insediamento dei Sabini e Vestini, i cui territori confinavano proprio nel punto in cui oggi sorge la città. Testimonianza più antica della civiltà nell'aquilano è la "Necropoli di Fossa", un insieme di tombe risalenti al X secolo a.C. situate a sud della città¹.

Dopo la conquista da parte dei romani avvenuta nel III secolo a.C., nella località che corrisponde all'odierna San Vittorino, pochi chilometri ad ovest dell'Aquila, venne fondata la città di *Amiternum*, di cui ancora oggi si possono

ammirare alcuni resti come l'anfiteatro ed il teatro, a testimonianza dell'importanza assunta nel tempo dalla città. Pur sopravvivendo alla caduta dell'Impero Romano, *Amiternum* visse un periodo di grande decadenza fino a scomparire completamente nel X secolo.

Nel frattempo i territori italiani assistevano all'arrivo dei Longobardi. Il territorio aquilano, appartenente al Ducato di Spoleto, venne per la prima volta scisso dall'Abruzzo meridionale, che invece era sotto il dominio di Benevento. Quando nel VIII secolo i Franchi batterono i Longobardi, riuscirono ad occupare solamente il Ducato di Spoleto, che segnò il limite

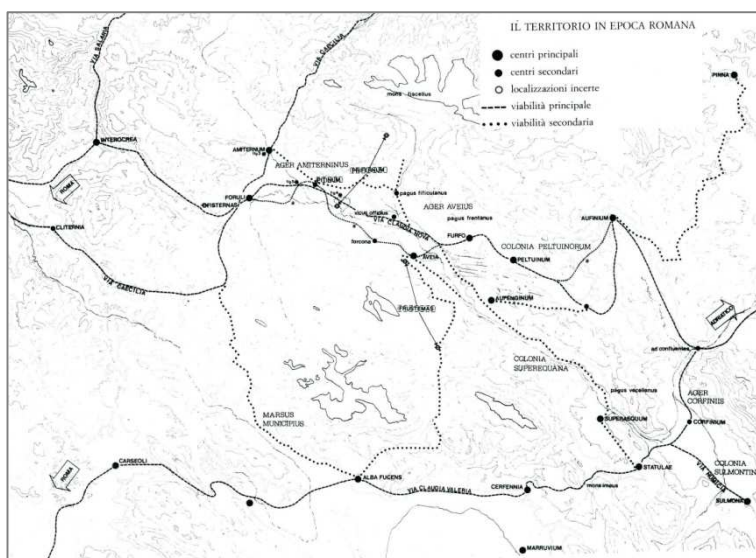


Figura 1.1 - Assetto territoriale in epoca romana che si stabilizza con la realizzazione della Claudia Nova, un nuovo asse viario territoriale. Il sistema insediativo si riorganizza polarizzandosi attorno all'asse e ai centri principali lasciando sopravvivere comunque la rete di viabilità minore precedente, tratto da A. Clementi, E. Piroddi, *le città nella storia d'Italia: L'Aquila*, ed. Laterza, pag.4

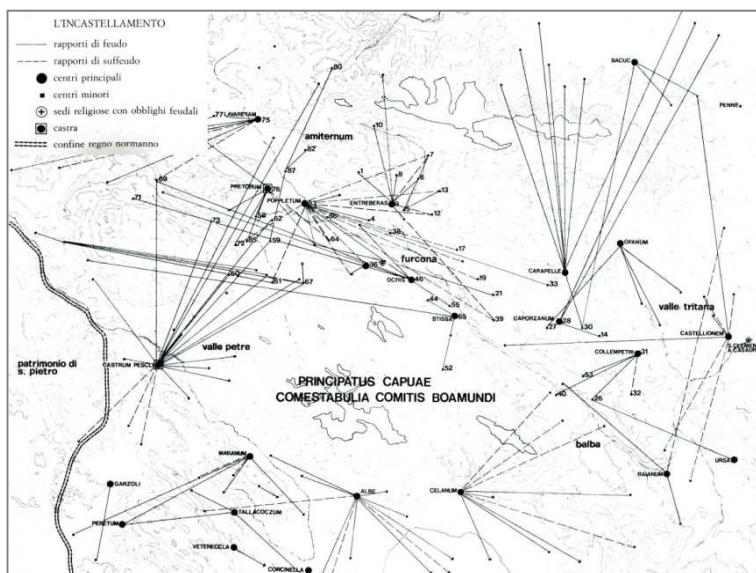


Figura 1.2 - Fenomeno dell'*incastellamento* in epoca normanna. Il sistema dei feudi e suffredi si organizza in aderenza alle strutture territoriali urbane ma con anche significative irradiazioni in modo da poter superare le barriere montuose principali, tratto da A. Clementi, E. Piroddi, *le città nella storia d'Italia: L'Aquila*, ed. Laterza, pag.10

¹ Cfr. A. Clementi, E. Piroddi, *Le città nella storia d'Italia: L'Aquila*, Editori Laterza, Bari, 1986, pp. 3-9.

meridionale delle loro conquiste italiane, mentre il Ducato di Benevento rimase ai Longobardi. Tale divisione determinò diverse ripercussioni circa l'economia della zona, in quanto una delle attività economiche principali delle terre in questione era l'allevamento degli ovini, che a sua volta si reggeva sulla transumanza che a seguito di tali divisioni territoriali tese a scomparire.

Dopo l'anno mille, con l'arrivo dei Normanni, avvenne la ripresa economica. Grazie alla riunificazione dell'Abruzzo, operata da re Ruggero II tra il 1139 e il 1153, fu possibile riprendere la transumanza. Durante il periodo di dominazione normanna avvenne il fenomeno dell'*incastellamento* (fig. 2), di cui sono esempio e testimonianza ancora oggi visibili il castello di San Pio delle Camere e il Castello di Ocre, che occupava una posizione strategica nella vallata dell'Aterno².

Un altro importante fattore di sviluppo economico fu la diffusione in Abruzzo delle abbazie cistercensi. Nel 1222 sorge nella futura vallata aquilana l'abbazia di Santo Spirito d'Ocre che diede un grande impulso all'economia dove sarebbe poi sorta la città³.

b_ Evoluzione della città nei secoli.

b.1_Fondazione, ricostruzione ed ascesa della città

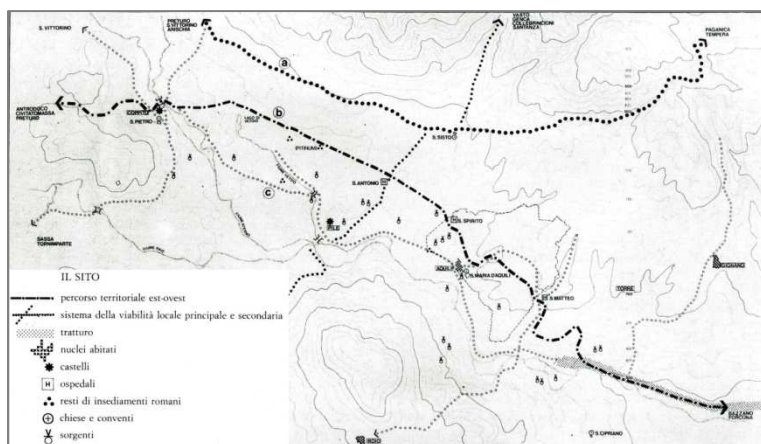


Figura 1.3 - Sito su cui sorge la città, la posizione dominante che controlla l'unica strettoia naturale della vallata, l'abbondanza di acque sorgive, la confluenza dei percorsi trasversali e longitudinali legati anche alla pastorizia costituiscono importanti fattori di localizzazione per la costruzione della città; tratto da A. Clementi, E. Piroddi, *Le città nella storia d'Italia: L'Aquila*, ed. Laterza, pag.24

di *Amiternum* e *Forcona* ad unirsi per formare un unico centro.

Il territorio su cui sorge la città è uno dei luoghi a più alto rischio sismico di tutta la penisola, per questo motivo la città ebbe numerosi fasi di crisi a seguito degli eventi tellurici. Questi continui processi di costruzione e ricostruzione non hanno permesso di rinvenire reperti o testimonianze architettoniche in grado di ricostruire la struttura urbanistica della città dell'epoca della fondazione, ma fonti scritte forniscono ugualmente informazioni utili per una ricostruzione, anche se non fedelissima.

Durante il regno di Carlo d'Angiò (1250 circa) si iniziò a pensare all'assetto urbanistico da dare all'agglomerato urbano di *Acculum* – tale nome sembra essere la versione onomatopeica dell'odierno

² Cfr. A. Clementi, E. Piroddi, *Le città nella storia d'Italia: L'Aquila*, Editori Laterza, Bari, 1986, pp. 9-12.

³ Cfr. A. Clementi, *Storia dell'Aquila dalle origini alla prima guerra mondiale*, Editori Laterza, Bari, 1998, pp. 3-12.

Aquila fu uno dei castelli che popolavano i monti e le colline circostanti, la conca su cui poi nascerà la città. Era probabilmente il più popolato e importante, tanto che nel 969 accolse papa Giovanni XIII e l'imperatore Ottonel.

Nel 1229 gli abitanti di questi castelli decisero di ribellarsi al giogo vassallatico dei normanni. A seguito del consenso di papa Gregorio IX, ottennero il permesso di fondare la città ma tale iniziativa non si concretizzò. Successivamente gli aquilani ottennero un nuova autorizzazione di fondare una nuova e grande città e si esortarono i castelli degli antichi contadi

nome della città -. La città venne “disegnata con più spazioso circuito in modo che ciascun popolo di quelle castella dovesse averli dentro il suo particolare ridotto e piazza”. L’assetto urbanistico che viene fornito alla città durante questo periodo è incentrato su una maglia regolare che delimita porzioni di terreno edificabile di forme regolari. Tale lottizzazione va a completare ed integrare la precedente e ridotta maglia viaria, che definiva il precedente centro abitato come *città Organica*, che connetteva le emergenze urbane –piazze, fontane...- mediante percorsi che andavano modellandosi lungo i naturali declivi montani. Tale geometria è però leggibile solamente in pianta (Fig. 5) in quanto le irregolarità geologiche del colle su cui sorge la stessa finiscono per conferire unicità ad ogni isolato del tessuto urbano⁴.

La fondazione dell’Aquila è un caso particolare, unico nel Medioevo italiano. La città nacque secondo un disegno armonico ben preciso, la copia in pianta della città di Gerusalemme, che non trova precedenti nella storia dell’architettura urbana (un caso simile, nel 1703 fu la nascita della città di San Pietroburgo).

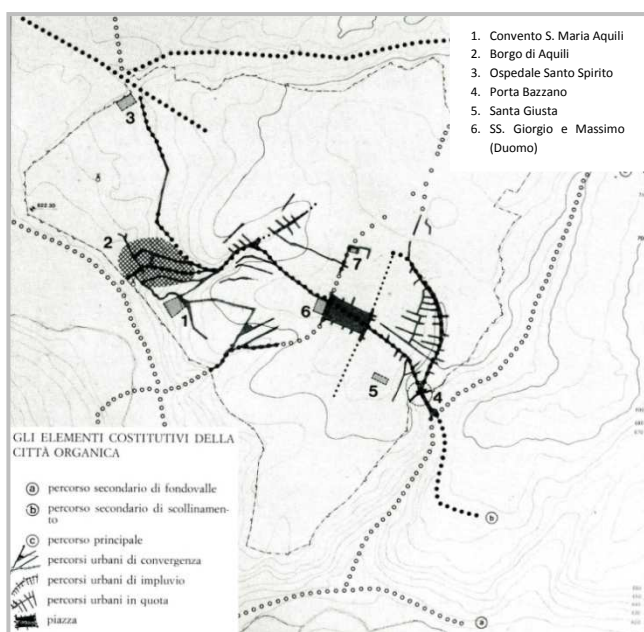


Figura 1.4 - Elementi costitutivi della città organica. La *città organica* (sino al 1259) è riconoscibile nelle connessioni tra le quali emerge la piazza, secondo percorsi che sfruttano l’andamento del terreno. I tracciati in quota e di compluvio determinano una prima trama urbana tipicamente naturalistica ed ancora oggi riconoscibile; tratto da A. Clementi, E. Piroddi, *le città nella storia d’Italia: L’Aquila*, ed. Laterza, pag.30

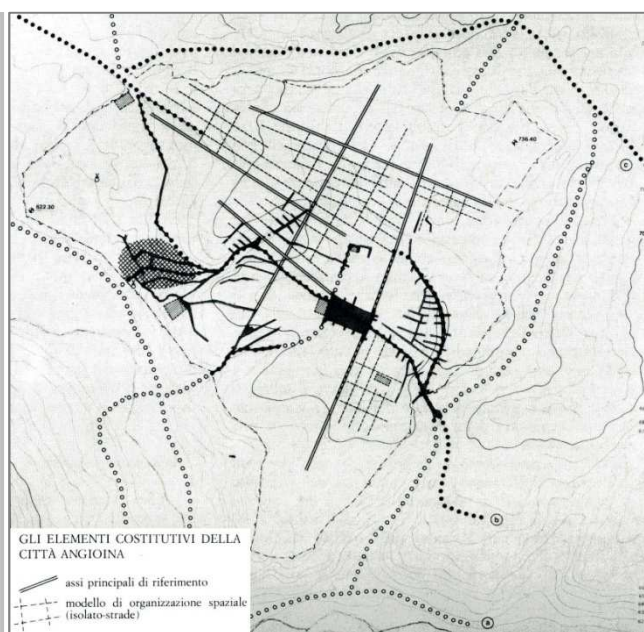


Figura 1.5 - La grande maglia della lottizzazione angioina (1266-1315) si sovrappone alla traccia della *città organica* senza cancellarla, proponendo però nuove assialità che rappresenteranno vere e proprie dominanti rispetto a tutte le altre successive fasi dello sviluppo urbano. Risulta evidente che nella nuova ordinata la piazza assume un ruolo marginale; tratto da A. Clementi, E. Piroddi, *le città nella storia d’Italia: L’Aquila*, ed. Laterza, pag.31

Nel 1259, colpevole di essere rimasta fedele alla Chiesa nel suo contrasto con l’Impero, Manfredi decise di punire la città radendola al suolo. Nel 1265 l’Aquila si sottomise all’impero così nel 1276 vennero cominciati i lavori per la sua ricostruzione partendo dalla cinta muraria. Nel frattempo la città divenne molto più vasta e popolosa, fino a contare 60.000 abitanti⁵. A seguito della posizione strategica, collocata su un colle al centro di un’ampia conca e protetta da catene montuose, nei primissimi anni dalla sua edificazione l’Aquila acquistò una notevole importanza.⁶

⁴ Cfr. A. Clementi, E. Piroddi, *Le città nella storia d’Italia: L’Aquila*, Editori Laterza, Bari, 1986, pp. 18-22.

⁵ Cfr. Touring Club Italiano, *L’Italia – Abruzzo e Molise*, Touring editore, 2005.

⁶ Cfr. M. R. Bernardi, U. Dante, S. Martini, F. Redi, *Breve storia dell’Aquila*, Pacini Editore, Pisa, 2008.

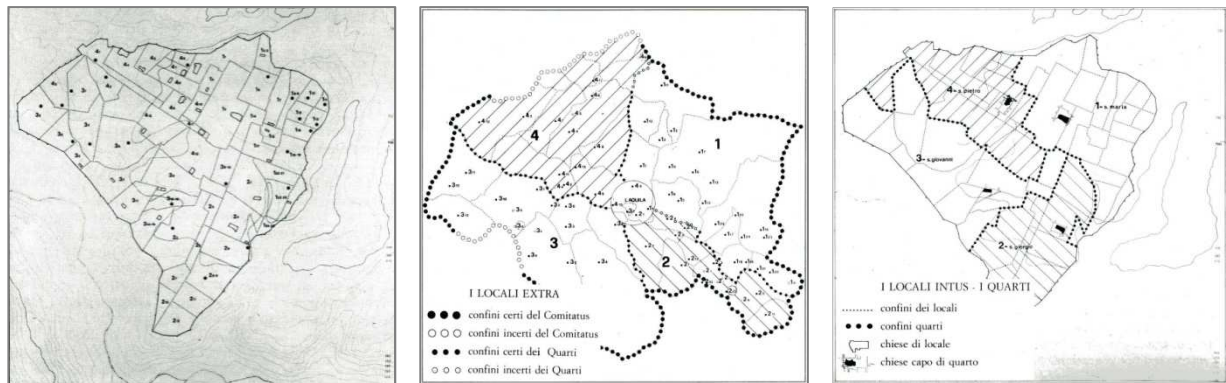


Figura 1.6 – Suddivisione della città dell’Aquila in quarti. In particolare si mette in evidenza la suddivisione in *Locali Initius* nella prima immagine, la suddivisione in *Locali Extra* nella seconda immagine e l’ultima suddivisione in *Quarti* nella terza immagine; tratto da A. Clementi, E. Piroddi, *le città nella storia d’Italia: L’Aquila*, ed. Laterza, pag.33

La città venne suddivisa in *locali* che vennero donati ai castelli che contribuirono alla fondazione, proporzionalmente al numero dei loro abitanti originari⁷. Per facilitare l’opera di fondazione della città, l’Aquila venne suddivisa in quattro parti, due delle quali riconducibili al circondario occidentale della città – la zona dell’antica *Amiternum* – e le restanti due al circondario orientale – la zona dell’antica *Forcona* –.

La particolarità dei *Quarti dell’Aquila* è quella di non limitarla alla suddivisione della città ma di estenderla a tutto il contado circostante. Questa scelta fa sì che ogni piccola comunità conservi ed esalti l’identità e la coesione delle comunità cittadine originarie. Per ogni comunità proveniente da fuori le mura era stato predisposto un lotto rettangolare adeguato alla costruzione di un “ridotto”, ovvero un luogo di riunione, solitamente una piazza o una chiesa. Le piazze della città ben presto si differenziarono per importanza e prestigio, registrando e sottolineando le gerarchie urbane.⁸

Fino al 1294 il territorio della città risultò suddiviso in *locali*, ciascuno corrispondente, come detto, al proprio centro fondatore, la piazza del Duomo (o del Mercato) però non appartiene a nessuno di questi. La scelta certifica che fin dalle origini fosse lo spazio di tutti, il luogo pubblico per eccellenza, la prima vera traccia della città originaria, non casuale, ma progettata tanto nel disegno quanto nella sua destinazione funzionale. Nonostante questo grande spazio pubblico centrale, la città assume nel corso del tempo, a causa delle numerose piazze secondarie, una valenza policentrica sebbene strutturata e gerarchizzata nella progressione dello sviluppo urbano⁹.

Per compensare poi i signori feudali che erano stati privati di terre e giurisdizioni, venne stabilito che i singoli beneficiari dei beni immobili ripagassero i singoli signori con beni immobili pari all’ottava parte di quanto perso da essi in forza della demanializzazione. È da questa scelta funzionale che nacquero le innumerevoli piazze e costruzioni ecclesiastiche che caratterizzano.

b.2_ Il Medioevo

Gestita da un podestà da un libero consiglio, durante il medioevo la città ebbe organizzazione autonoma e propri statuti. Il primo consiglio cittadino fu composto dai sindaci dei vari villaggi e la città non ebbe una propria esistenza giuridica fino al regno di Carlo II di Napoli; il re nominò un Camerlengo quale responsabile dei tributi, che da allora, vennero pagati dalla città in quanto tale, mentre in precedenza, erano pagati dai singoli villaggi ognuno dei quali comprendeva il quartiere realizzato all’interno della città.

⁷ Cfr. M. R. Bernardi, U. Dante, S. Martini, F. Redi, *Breve storia dell’Aquila*, Pacini Editore, Pisa, 2008.

⁸ Cfr. M. Cecchini, L. Lopez, *L’Aquila città del novantanove*, Edizioni Laterza, Bari, 1993.

⁹ Cfr. A. Clementi, E. Piroddi, *Le città nella storia d’Italia: L’Aquila*, Editori Laterza, Bari, 1986, pp. 28-29.

Essendo sorta su un territorio a grande sismicità, la città fu interessata più volte nella sua storia da fenomeni tellurici. Il primo terremoto documentato avvenne il 13 Dicembre 1315 che arrecò ingenti danni al costruito. Tuttavia il primo terremoto distruttivo per la nuova città si verificò il 9 Settembre 1349, valutabile come un sisma di magnitudo 6.5 scala Richter e X grado della scala Mercalli. Furono sbrecciati ampi tratti della cinta muraria e crollarono moltissime case e chiese. La difficile opera di ricostruzione scoraggiò moltissimi abitanti che preferirono tornare ai villaggi dei loro avi. Di fronte alla possibilità che l'Aquila diventasse città disabitata, il Regno di Napoli impose di chiudere mediante tavoloni di legno le breccie aperte nelle murature cittadine e la fece presidiare per obbligare gli aquilani alla ricostruzione¹⁰.

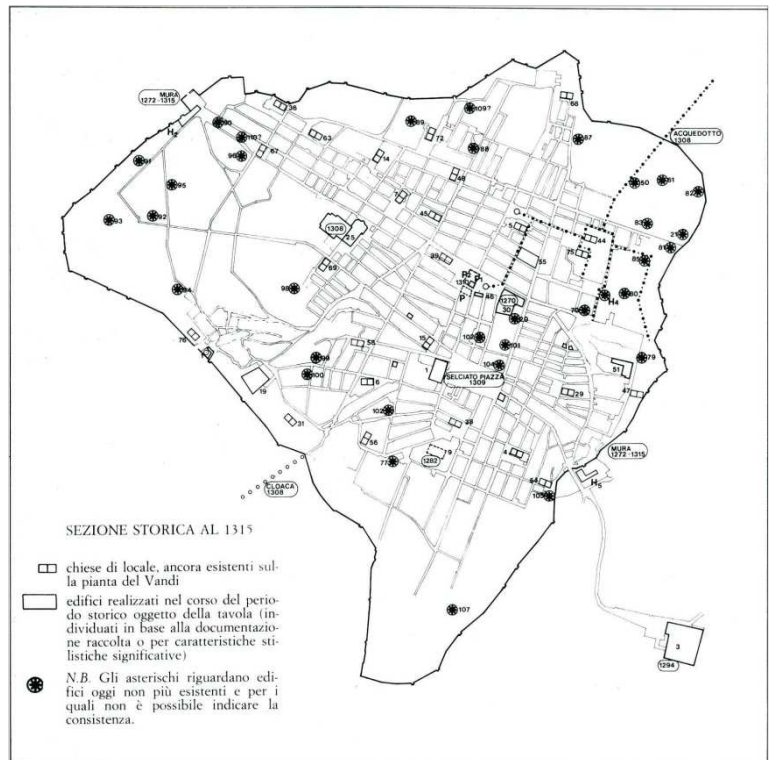


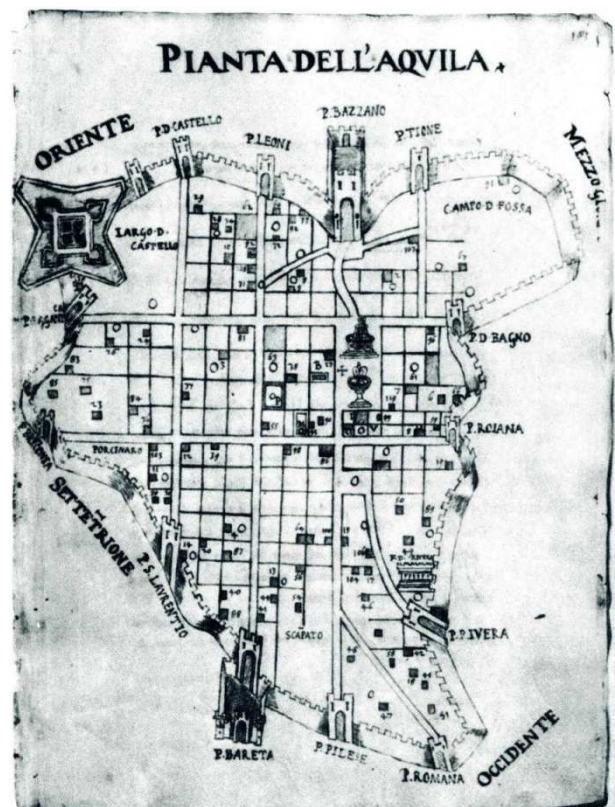
Figura 1.7 - Sezione storica al 1315; in evidenza le opere di urbanizzazione (acquedotto, fontane, cloaca, parziale selciatura della rete viaria) e quelle di difesa (le mura), che costituiscono il supporto di una edilizia ancora di modesta consistenza; tratto da A. Clementi, E. Piroddi, *le città nella storia d'Italia: L'Aquila*, ed. Laterza, pag.46

b.3_Dal periodo d'oro alla decadenza

Il quattrocento corrisponde ad un'epoca d'oro per la città dell'Aquila. Dopo la ricostruzione la città cominciò a prosperare grazie ai suoi commerci, specialmente di lana e zafferano, estendendo le proprie relazioni fino a Firenze, Genova e Venezia nonché Olanda, Francia e Germania diventando in breve tempo la città più importante del Regno di Napoli. A seguito di tale importanza la città ebbe il privilegio di ospitare la Zecca e l'Università¹¹.

Nonostante tutto la città non fu risparmiata dai terremoti: il 3 Aprile 1398 una scossa, breve ma

Figura 1.8 - Pianta dell'Aquila del Fonticulano del 1575, la prima rappresentazione "topografica della città, supporto tecnico-ideologico delle successive rappresentazioni, fino a quella del Vandì nel 1753. Viene qui riportata la rete stradale e delle piazze mentre per la parte edificata si limita ad indicare l'occupazione del suolo. Tale rappresentazione infatti si incentra principalmente sulla rappresentazione degli edifici ecclesiastici presenti nella città al tempo; tratto da A. Clementi, E. Piroddi, *le città nella storia d'Italia: L'Aquila*, ed. Laterza, pag.94



¹⁰ Cfr. A. Clementi, E. Piroddi, *Le città nella storia d'Italia: L'Aquila*, Editori Laterza, Bari, 1986, pp. 47-49.

¹¹ Cfr. A. Clementi, *Storia dell'Aquila dalle origini alla prima guerra mondiale*, Editori Laterza, Bari, 1998, pp. 45-61.

intensa, causò lievi danni. Il medesimo evento si riverificò il 10 Novembre 1423, mentre il 5 Dicembre 1456 un violento terremoto colpì tutto il regno di Napoli ma L'Aquila ne rimase coinvolta solamente in maniera marginale. Il 26 Novembre 1461 uno dei sismi di maggiore intensità della storia della città la colpì. La magnitudo stimata è 6.4 scala Richter e X grado della scala Mercalli. Nei due mesi successivi uno sciame sismico di discreta intensità continuò a flagellare la zona. Le fonti storiche riportano la pressoché totale distruzione di Onna, Poggio Picenze, Castelnuovo e Sant'Eusanio Forconese¹².

Nel 1503 gli spagnoli conquistarono il regno di Napoli. Il nuovo governo tolse ogni forma di autonomia cittadina e non essendo in grado di mantenere alto il tenore dell'economia acquisita della città, L'Aquila, ancora in ricostruzione dopo il grande terremoto, cominciò un processo di decadimento. Durante la seconda metà del secolo la figlia di Carlo V, Margherita d'Austria, che dopo avere ottenuto il governo della città riuscì a donarle un nuovo momento di splendore dedicandosi all'amministrazione dei feudi abruzzesi, dando nuovo impulso all'economia locale e alla cultura e risolvendo delicate questioni territoriali. Questa nuova rinata visibilità sul piano internazionale, il senso di rinascita e la relativa visibilità politica comportarono un periodo di grande positività che si confermò per tutto il seicento¹³.

b.4_ Il settecento

Ad osteggiare la ripresa politica ed economica della città ci furono, ancora una volta gli eventi tellurici. Sul finire del seicento, in particolare nell'Aprile 1646 e nel Giugno 1672, alcune violente scosse tornarono a tormentare la città. Nel 1703 si scatenò il *Grande terremoto*, il terremoto di maggiore gravità della storia cittadina recente. L'Aquila venne completamente rasa al suolo. Quasi tutte le chiese e gli edifici pubblici crollarono o riportarono gravissimi danni.

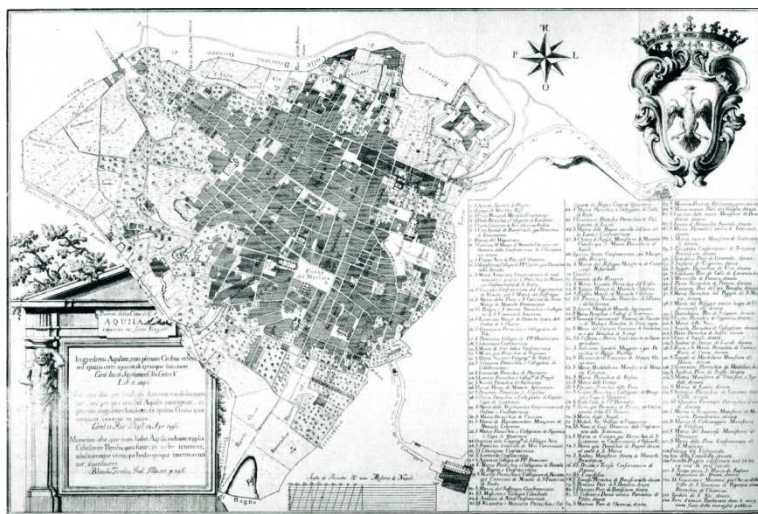


Figura 1.9 – Pianta del Vandi del 1753. La cultura è molto più tecnica rispetto alle rappresentazioni precedenti. Qui vi è esattezza della ricostruzione topografica dei tracciati e del perimetro urbano; tratto da A. Clementi, E. Piroddi, *le città nella storia d'Italia: L'Aquila*, ed. Laterza, pag.134

Il disastroso terremoto del 1703 fu però l'occasione per attuare alcuni interventi edilizi ed urbanistici che stavano prendendo piede in molte città europee. Dalle macerie di inizio secolo nacque una nuova città fatta da costruzioni imponenti e ricca di decorazioni e ornamenti che consacreranno allo stile barocco la città. Sul terreno occupato in precedenza da dimore crollate sorsero palazzi nobiliari mentre molte tra le principali chiese

vennero modificate o riedificate secondo il nuovo gusto. I cambiamenti riguardarono anche la vita sociale ed economica dell'Aquila che venne

ripopolata grazie soprattutto all'immigrazione dal contado. Il terremoto, infatti, favorì il trasferimento delle famiglie più povere dalla campagna alla città e l'insediamento di ricchi proprietari terrieri interessati ad accrescere la loro posizione sociale¹⁴.

¹² Cfr. A. Clementi, *Storia dell'Aquila dalle origini alla prima guerra mondiale*, Editori Laterza, Bari, 1998, pp. 73-81.

¹³ Cfr. A. Clementi, *Storia dell'Aquila dalle origini alla prima guerra mondiale*, Editori Laterza, Bari, 1998, pp. 95-106.

¹⁴ Cfr. A. Clementi, E. Piroddi, *Le città nella storia d'Italia: L'Aquila*, Editori Laterza, Bari, 1986, pp. 117-124.

Con la pace di Vienna del 1738 si pose fine alla dominazione spagnola e sul finire del secolo il Regno di Napoli fu invaso dai francesi. A Napoli fu proclamata la “Repubblica Partenopea” sulla base dei principi egualitari della rivoluzione francese. Tale Repubblica ebbe però vita breve ma solo pochi anni dopo le truppe napoleoniche si rimpossessarono del Regno di Napoli. Le amministrazioni cittadine furono riorganizzate e modernizzate: all'Aquila venne eliminata la storica suddivisione in Quarti e fece la sua comparsa la figura del “Sindaco”. Successivamente il Congresso di Vienna ristabilì gli ordinamenti precedenti e L'Aquila tornò sotto il controllo dei Borboni¹⁵.

b.5_L'Aquila in Italia e in Abruzzo

Durante il periodo risorgimentale gli aquilani parteciparono attivamente ai moti rivoluzionari. Le conseguenze dell'unità d'Italia furono molteplici. Sino ad allora la città costituiva una eccezione nel Regno di Napoli grazie alla sua posizione settentrionale e per i suoi rapporti diretti con Roma. Nonostante la nuova centralità all'interno del Regno d'Italia e l'accentuarsi dei rapporti con i romani, L'Aquila si trovò in svantaggio a seguito di un isolamento culturale, sociale e morfologico che fino ad allora aveva invece costituito una positività. Un ulteriore colpo all'ambizione della città e alle sue prospettive di sviluppo venne costituito dal tracciato ferroviario tra Roma e l'Adriatico che per molto tempo tagliò fuori la città dalle grandi comunicazioni nazionali. Nonostante tutto L'Aquila riuscì a mettere a frutto gli aspetti positivi di una nuova stabilità politica e, a cavallo tra ottocento e novecento, vennero realizzate in città grandi opere urbanistiche che ne modernizzarono l'aspetto¹⁶.

Il periodo fascista portò con sé una serie di trasformazioni politiche ed urbanistiche destinate a segnare il volto della città. Vi fu riordino delle circoscrizioni provinciali con l'istituzione di nuove province e il riordino di altre. All'interno di questa sistemazione vennero legati alla città capoluogo aquilana i numerosi paesi e villaggi che facevano da contorno, accentrando le istituzioni e realizzando l'unione politica tra L'Aquila e il suo contado. Similmente a quanto accadeva nelle altre importanti città del regno venne ideato il concetto di *Grande Aquila*. Il territorio comunale ampliò notevolmente i propri confini in



Figura 1.10 – Foto aerea della città dell'Aquila del 1945.

quanto vennero aggregati diversi comuni.

Questo rafforzamento, sia demografico

che economico, pose le basi per un complesso piano di trasformazione architettonica ed urbanistica della città che scoprirà, per la prima volta nella sua storia, una vocazione turistica. Durante il ventennio fascista la città sistemò la sua area settentrionale mediante l'installazione della Fontana Luminosa e la realizzazione di impianti sportivi. Inoltre realizzò sul Gran Sasso un moderno impianto di risalita in funzione tutt'oggi e la costruzione di una zona ricettiva nell'area di Campo Imperatore.

¹⁵ Cfr. A. Clementi, *Storia dell'Aquila dalle origini alla prima guerra mondiale*, Editori Laterza, Bari, 1998, pp. 153-175.

¹⁶ Cfr. A. Clementi, E. Piroddi, *Le città nella storia d'Italia: L'Aquila*, Editori Laterza, Bari, 1986, pp. 151-166.

Durante la Seconda Guerra Mondiale, essendo fuori dalle grandi vie di comunicazione, L'Aquila venne risparmiata dalle principali battaglie ma fu teatro di sanguinose stragi. Nel 1943, dopo l'armistizio, Benito Mussolini venne imprigionato all'interno dell'albergo a Campo Imperatore, poi liberato dai tedeschi che occuparono la città dando inizio ad un periodo di grande violenza conclusosi solo con la loro ritirata.

Nel dopoguerra L'Aquila visse un momento di crescita demografica che portò per la prima volta l'espansione edilizia a superare la cinta muraria con la costruzione, non sempre esemplare, di nuovi quartieri a ridosso del centro storico. Politicamente ed economicamente la città andava perdendo importanza a favore delle provincie sulla costa. In particolare vi furono diversi scontri con la città di Pescara, a seguito della regionalizzazione amministrativa dell'Italia, al fine di definire quale delle due potesse diventare capoluogo. Grazie all'importanza storica e culturale rivestita nei secoli passati e al migliore rapporto con la Capitale, L'Aquila ebbe la meglio¹⁷.

b.6_Le vicende attuali.

Il 6 Aprile 2009, alle ore 3:32, dopo diversi mesi di scosse localizzate e percepite in tutta la zona, L'Aquila è stata colpita da un terremoto di magnitudo 6.3 scala Richter e intensità pari al IX-X grado della scala Mercalli. Nell'area colpita dal sisma si sono contate 308 vittime ed oltre 1.500 feriti, mentre la quasi totale evacuazione della città ha portato a 65.000 il numero degli sfollati.

Sono - oltre a l'Aquila - Santo Stefano di Sessanio, Castelvechio Calvisio, San Pio, Villa Sant'Angelo, Fossa, Ocre, San Demetrio ne Vestini e i centri dell'Altopiano delle Rocche. La situazione più drammatica è nel capoluogo e in alcune delle sue frazioni come Onna, rasa quasi completamente al suolo, e Paganica, dove le persone rimaste sotto le macerie si contano a decine. Ma è il centro storico dell'Aquila ad aver subito i danni di maggiore rilievo, con numerosi crolli, moltissimi edifici lesionati e alcuni palazzi crollati completamente. Crolli che hanno coinvolto anche la Casa dello Studente e alcuni edifici dell'università.

¹⁷ Cfr. A. Clementi, E. Piroddi, *Le città nella storia d'Italia: L'Aquila*, Editori Laterza, Bari, 1986, pp. 172-185.

c_ Sismicità dell'area aquilana.

La città dell'Aquila è collocata nella parte centrale della catena Appenninica, in una zona storicamente soggetta a terremoti. Rappresenta un margine di una placca deformata durante la collisione continentale tra la placca africana – cui appartiene - e quella euroasiatica che ebbe origine 65 milioni di anni fa in epoca Cenozoica. Gli Appennini appartengono al sistema geodinamico che migra dall'area Tirrenica a quella Adriatica, in direzione da ovest ad est, in risposta al ritiro flessionale e al conseguente affondamento della piattaforma dell'Apulia. Tale unione è condotta verso ovest al di sotto della catena Appenninica. La città dell'Aquila è collocata su un bacino tettonico confinato dalle faglie attive che colpiscono a nord-ovest e affondano a sud-est. L'Aquila è situata su un terrazzamento fluviale che costituisce la sponda sinistra del fiume Aterno.

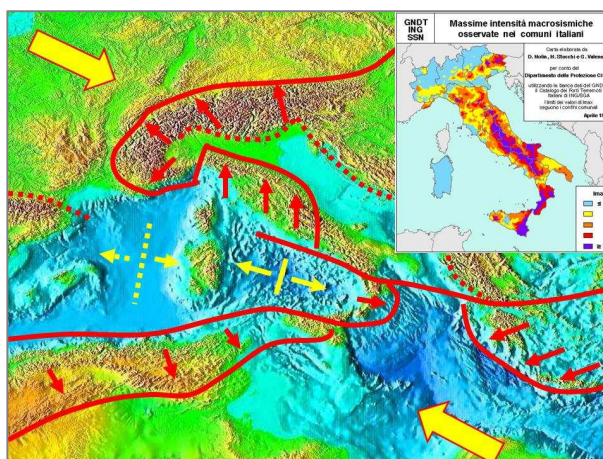


Figura 1.11 - Spostamenti e direzioni delle faglie attive nell'area aquilana. La direzione dell'allineamento della sismicità è consistente con la direzione delle principali faglie note nella zona, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Il danneggiamento nella zona epicentrale è determinato, oltre che dalla magnitudo del terremoto, anche dalla direzione di propagazione della rottura e dalla geologia dei terreni. In particolare, i danni maggiori si osservano nella direzione verso cui si propaga la linea di faglia e vengono amplificati nelle aree dove in superficie affiorano sedimenti "soffici", quali depositi alluvionali, terreni di riporto...

Nel caso del terremoto dell'Aquila, la rottura associata all'evento sismico del 6 aprile 2009 si è propagata dal basso verso l'alto, quindi verso la città e in direzione da nord-ovest a sud-est, verso la valle dell'Aterno¹⁸.

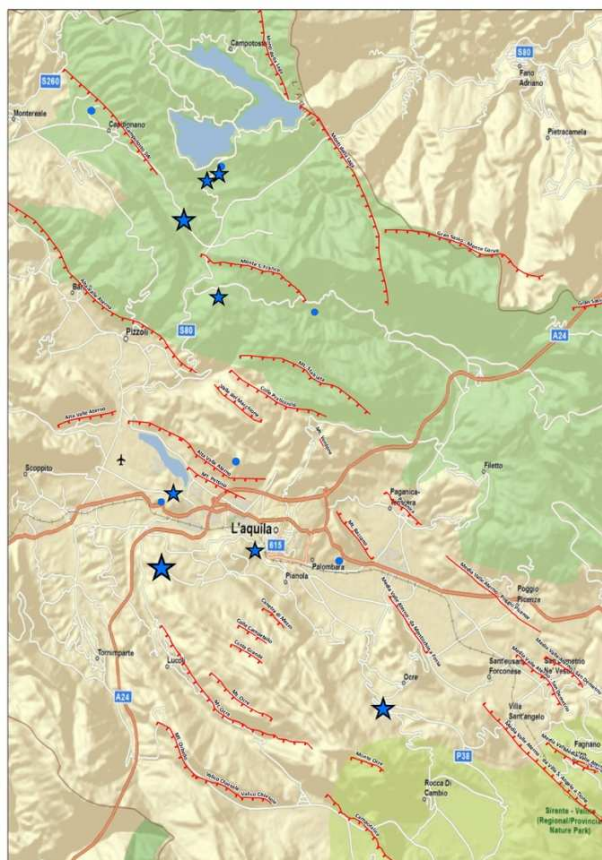


Figura 1.12 – Mappa delle faglie attive nell'area aquilana. La direzione dell'allineamento della sismicità è consistente con la direzione delle principali faglie note nella zona, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

¹⁸ Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; <http://www.ingv.it>.

d_Terremoti storici nell'area colpita dal sisma del 6 Aprile 2009

La scossa del 6 aprile ha interessato un'area già in passato colpita da terremoti con effetti al di sopra della soglia del danno. I più forti terremoti storici riportati nel catalogo CPTI04 (Gruppo di Lavoro CPTI04, 2004) sono quelli del 9 settembre 1349 (Me 6.5) e del 2 febbraio 1703 (Me 6.7). La scossa del 6 aprile è certamente non paragonabile a questi eventi sismici, legati a rilasci di energia decisamente superiori. Un paragone si può però proporre con altri eventi che hanno interessato l'area. In particolare, i terremoti del 1461 (Me 6.4), 1762 (Me 5.9), 1916 (Me 5.2) e 1958 (Me 5.2), sono stati tutti responsabili di danni a L'Aquila e dintorni. In particolare, l'attività dell'Aprile 2009 si colloca tra la terminazione meridionale della faglia che si è attivata nel terremoto del 1703 (Intensità MCS del X grado, Magnitudo stimata circa 6.7) a nord, e le strutture della media valle dell'Aterno verso sud (fig. 11 e 12)¹⁹.

L'area che comprende la zona colpita dalla sequenza sismica in corso è stata sede di numerosi terremoti distruttivi di cui si ha riscontro a partire dal 1300.

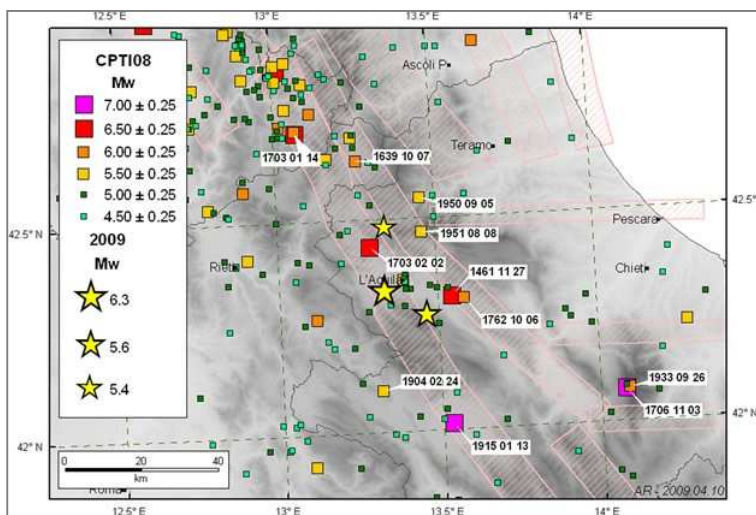


Figura 1.13 - Tabella riportante la storia sismica dell'Aquila, Istituto Nazionale Geofisica e Vulcanologia

In particolare, in aggiunta alla sequenza del 1703 (14 gennaio, Norcia; 2 febbraio, Aquilano) e al grande terremoto della Marsica (1915), si ricordano:

alcuni terremoti che hanno colpito l'area odierna, distruttivi (1315, 1461 e 1762) o comunque abbastanza forti (1958);

- l'evento del 1639, che ha danneggiato la conca di Amatrice;
- gli eventi del 1706 e 1933 nell'area della Maiella;
- gli eventi del 1950 e 1951 nell'area a Nord del Gran Sasso.

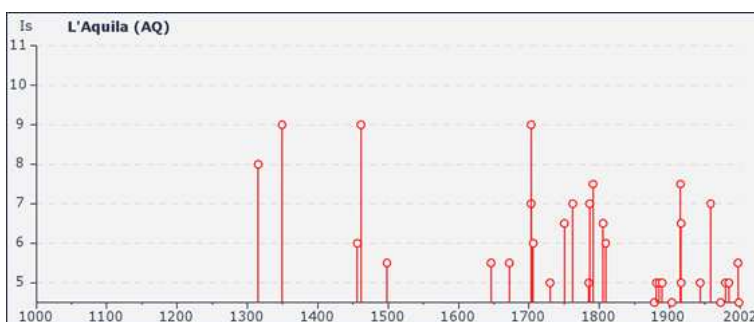


Figura 1.14 - Rappresentazione della sismicità storica dell'aquilano a partire dal 1300, tratto dal catalogo CPTI08 e DBMI08 dell'Istituto nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Forti danni nell'area più colpita dalla sequenza in atto sono stati provocati anche dal terremoto del 1456 (Molise). All'Aquila sono segnalati forti danni anche in occasione del complesso terremoto del 1349. Si osserva che la zona a sud-est di quella attualmente più colpita, fino a Sulmona, non risulta sede di eventi sismici negli ultimi 600 anni. Analogamente, non si hanno informazioni di terremoti forti generatisi nell'area fra il Gran Sasso e la zona di Amatrice.

¹⁹ Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, *Terremoti storici nell'area colpita dagli eventi sismici del 6 Aprile 2009*, <http://www.ingv.it>

L'attività di questi giorni si colloca tra la terminazione meridionale della faglia che si è attivata nel terremoto del 1703, avente magnitudo stimata 6.7 scala Richter e X grado scala Mercalli, a nord, e le strutture della media valle dell'Aterno verso sud (si veda mappa delle faglie attive in figura 12)²⁰.

d.1_I terremoti del Medioevo

Il primo terremoto di cui si abbia notizia in tempi storici risale al 13 Dicembre 1315. La prima scossa si era manifestata il 1° Febbraio dello stesso anno ma i maggiori danni si ebbero in dicembre, con le scosse che si ripeterono per le successive quattro settimane dal sisma principale. Tra i danni segnalati vi fu il consistente danneggiamento della chiesa di San Francesco.

Tuttavia il primo terremoto distruttivo per la città si verificò il 9 Settembre 1349. Si stima che il sisma abbia avuto una magnitudo 6.5 della scala Richter e che abbia prodotto danni valutabili nel X grado della scala Mercalli. Furono sbracciati e atterrati ampi tratti delle mura cittadine e crollarono moltissime case e chiese. I decessi furono ottocento e, poiché all'epoca gli abitanti dell'Aquila erano meno di diecimila, raggiunsero quasi il 10% della popolazione. La gran polvere che si alzò gravò sulla città per molto tempo, impedendo il salvataggio repentino di coloro che erano stati travolti dalle macerie.²¹

A causa del sisma crollò la chiesa di Santa Maria Paganica e rimase completamente distrutta anche la chiesa di San Francesco, che già aveva subito danni nel terremoto del 1315 e che dovette essere completamente rasa al suolo. Le macerie furono accumulate nel piazzale antistante una delle entrate in città, davanti alla cosiddetta *Porta dei Leoni* che in tal modo rimase chiusa. La porta non fu più liberata e, successivamente, fu definitivamente murata.²² La difficile e laboriosa ricostruzione scoraggiò una parte della popolazione, che preferì tornare ai villaggi e ai castelli dai quali erano venuti i loro avi. Di fronte all'esodo massiccio della popolazione e alla conseguente prospettiva di vedere cancellata L'Aquila tra le città del Regno di Napoli, il governatore fece chiudere con tavoloni di legno le brecce nelle mura cittadine, facendole presidiare.²³

d.2_il terremoto del 1461

Anche nel quattrocento L'Aquila non fu risparmiata da disastrosi terremoti. Il 3 Aprile 1398 un'intensa ma breve scossa causò lievi danni. Lo stesso accadde qualche anno più tardi, il 10 Novembre 1423, mentre il 5 Dicembre 1456 un violento terremoto venne registrato in tutto il territorio del regno di Napoli: la scossa, verificatasi alle dieci di sera, distrusse quasi integralmente Carsoli e Castel di Sangro. L'Aquila al confronto, fu colpita in modo tutto sommato marginale, escludendo la rottura delle colonne della tribuna e testitudine della nuova Basilica di San Bernardino.

Uno dei sismi di maggiore entità nella storia cittadina si verificò invece il 26 Novembre 1461, che si segnala per la somiglianza con il terremoto del 6 Aprile 2009. La magnitudo stimata è di 6.4 della scala Richter e intensità pari al X grado della scala Mercalli. Successivamente alla scossa principale, seguì una sequenza di eventi sismici che si protrasse per circa due mesi, con alcune forti scosse il 4 Dicembre, il 17 Dicembre ed il 3 e il 4 gennaio dell'anno successivo. Le fonti storiche riportano un gravissimo quadro di

²⁰ Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, *Terremoti storici nell'area colpita dagli eventi sismici del 6 Aprile 2009*, <http://www.ingv.it>

²¹ Cfr. G. Vittorini, *stato dell'Aquila degli Abruzzi nei grandi periodi sismici del 1315, 1349 e 1461-62*, in Bollettino della società abruzzese di storia patria, L'Atermina, L'Aquila, 1896.

²² A. L. Artinoni, *Memorie manoscritte*, Biblioteca provinciale dell'Aquila.

²³ Notizie riportate sulle "Cronache aquilane" di B. di Ranallo nei manoscritti di A. L. Antinori.

danni alla città dell'Aquila e una pressoché totale distruzione di alcune località minori collocate nell'area a sud-est quali Onna, Poggio Picenze, Castelnuovo e Sant'Eusanio Forconese.

d.3_ Il terremoto del 1703

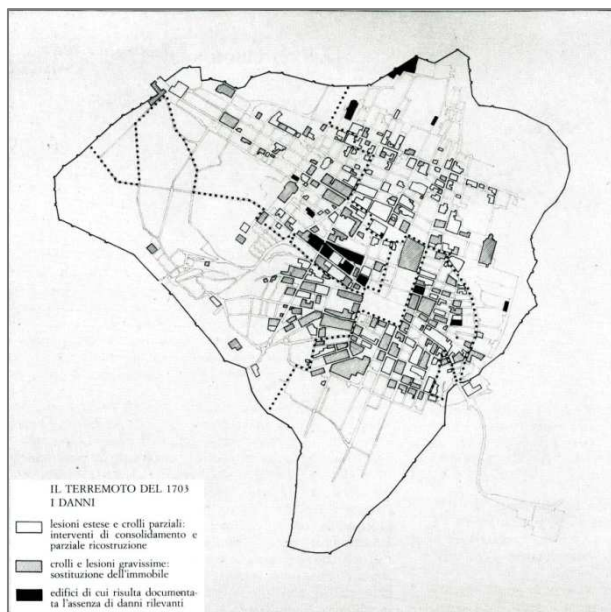


Figura 1.15 - Stralcio del centro storico dell'Aquila con evidenziate le zone danneggiate dal sisma del 1703

Sul finire del seicento alcune violenti scosse tornarono a tormentare L'Aquila, in particolare si ricorda il terremoto del 1646, raccontato nel Trattato di Filippo da Secinara e di intensità stimata nel VII grado della scala Mercalli, e quello del Giugno 1672 avvertito anche ad Amatrice e Montereale.

Quello del 1703, conosciuto come il *Grande Terremoto* è, probabilmente, il terremoto di maggiore gravità della storia cittadina recente. La prima scossa della sequenza si verificò il 14 Ottobre 1702 ma la maggiore venne registrata il 2 Febbraio del 1703 e si stima che abbia avuto magnitudo pari a 6.7 della scala Richter causando devastazioni stimate nel X grado della scala Mercalli.

L'Aquila venne quasi completamente rasa al suolo. Quasi tutte le chiese e gli edifici pubblici crollarono o

riportarono gravissimi danni. Si stima che nelle varie scosse che colpirono la città quell'anno siano morte in tutto 6.000 persone. Le chiese di San Bernardino, San Filippo, La Cattedrale di San Massimo, San Francesco, Sant'Agostino e tutti i palazzi della città risultarono o completamente rasi al suolo oppure pesantemente danneggiati.²⁴

d.4_ Il terremoto del 6 Aprile 2009



Figura 1.16 - La Prefettura dell'Aquila dopo il sisma

Il terremoto scatenatosi nella notte del 6 Aprile 2009 è stato preceduto da una lunga serie di scosse, provenienti da un'attività sismica in atto dal Dicembre 2008. Inizialmente, oltre alla zona dell'aquilano, è stata interessata come epicentro dell'attività anche la zona di Sulmona. Nei giorni successivi alla scossa principale altri intensi focolai sismici si sono sviluppati a sud-est della città e poco più a nord. Le scosse di assestamento si sono prolungate per circa un anno dall'evento principale.

La scossa distruttiva si è verificata il 6 Aprile 2009 alle ore 03:32 ad una profondità di 10 km. L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ha registrato un sisma di magnitudo 6.3 scala Richter e in termini di misurazione dei danni si è raggiunto il IX grado della scala Mercalli. Nelle 48 ore dopo la scossa principale si sono registrate altre 256 scosse di cui 56 oltre la magnitudo 3.0 della scala Richter e 3 superiori alla magnitudo

²⁴ L. Mammarella, *l'Abruzzo ballerino: cronologia dei terremoti in Abruzzo dall'epoca romana al 1915*, Adelmo Polla Editore, L'Aquila, 1990, pp 77-83.

5.0. Nell'anno che ha seguito l'evento sono stati registrate oltre 18.000 scosse in tutta l'area della città dell'Aquila.²⁵ Il sisma è stato avvertito in tutto il centro-sud d'Italia, dalla Romagna a Napoli.

Il bilancio definitivo è di 308 morti, circa 1600 feriti di cui 200 gravissimi ricoverati in diversi ospedali della regione. Circa 65.000 gli sfollati, alloggiati momentaneamente in tendopoli, auto, alberghi lungo la costa adriatica. Numerose le persone estratte vive dalle macerie, anche dopo molte ore dalla scossa principale.

Subito si è provveduto all'istituzione di tende da campo mentre i ricoverati all'ospedale San Salvatore, dichiarato inagibile al 90%, sono stati trasportati in una tendopoli adibita ad ospedale oppure in altri ospedali e in altre strutture della provincia. Il sisma ha quasi completamente distrutto la sede della Prefettura dell'Aquila che avrebbe dovuto essere il centro di coordinamento dei soccorsi.



Figura 1.17 - Soccorsi tra le macerie

La città è stata seriamente danneggiata nel centro storico, devastato da smottamenti di terreno e crolli. Campanili di chiese venuti giù di colpo, edifici sventrati, palazzi pubblici danneggiati e inagibili con la gente ammassata in piazza Duomo, piazza Palazzo, piazza Castello. I più bei monumenti medievali dell'Aquila sono tutti danneggiati. In modo particolare la basilica di San Bernardino dove è crollato il campanile e l'abside è completamente danneggiata. La chiesa delle Anime Sante in piazza Duomo non ha più la cupola, mentre sulla piazza antistante la pavimentazione in porfido è completamente divelta. Danni si registrano anche alla basilica di Santa Maria in Collemaggio.



Figura 1.18 - La chiesa dell'Animesante all'Aquila

Tra gli edifici più importanti crollati in città ci sono, appunto, la Prefettura, la cupola della chiesa delle Anime Sante, una parte della Casa dello Studente, il Dipartimento di Storia e il Polo d'Ingegneria dell'Università dell'Aquila e l'hotel "Duca degli Abruzzi". Si stima che 10/15 mila siano gli edifici danneggiati.

Il sisma ha riversato la sua forza sull'abitato e sui paesi limitrofi, tra i quali Onna (dove il 50% delle case è crollato mentre il rimanente 50% risulta fortemente danneggiato), Villa, Sant'Angelo, Castelnuovo, Tempera, San Gregorio e Paganica. Il capoluogo stesso presenta crolli anche totali in molte zone e gravissimi danni alla maggior parte degli edifici di valore storico e culturale. Le chiese principali risultano danneggiate o quasi completamente crollate. Particolare rilevanza ha avuto la mancata resistenza e quindi il danneggiamento talvolta irreversibile della maggioranza degli edifici pubblici, sia antichi che moderni. Ne sono un esempio il Palazzo del Governo sede della prefettura, la Casa dello Studente, il Convitto nazionale, l'Ospedale San Salvatore e molti palazzi signorili del settecento e dell'ottocento.

²⁵ Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, *Terremoto 6 Aprile 2009*, <http://www.ingv.it>

e_Edifici storici, tipologie murarie e danni nell'aquilano

Una straordinaria coerenza storica e costruttiva lega l'immagine e le vicende dell'Aquila e del suo territorio, a partire dalla sua dibattuta fondazione duecentesca: economia, struttura sociale, organizzazione politica e religiosa hanno nel tempo intrecciato le sorti della città a quella del suo territorio, condizionando la sua topografia, i tracciati viari, le architetture. Con analogha coerenza, il terremoto ha colpito gli abitati minori, danneggiando significativamente quasi tutte le fabbriche storiche e rendendo inagibile la maggior parte dei centri antichi del territorio.

A causa dei danni prodotti da questi eventi sismici, ci si trova dinnanzi ad esigenze di miglioramento strutturale. Il rischio che si corre è quello di declinare il tutto in frettolosi e sommari tentativi di ripristino o, ancora peggio, una rapida e apparentemente efficace attività di sostituzione edilizia, a volte veicolata dalla

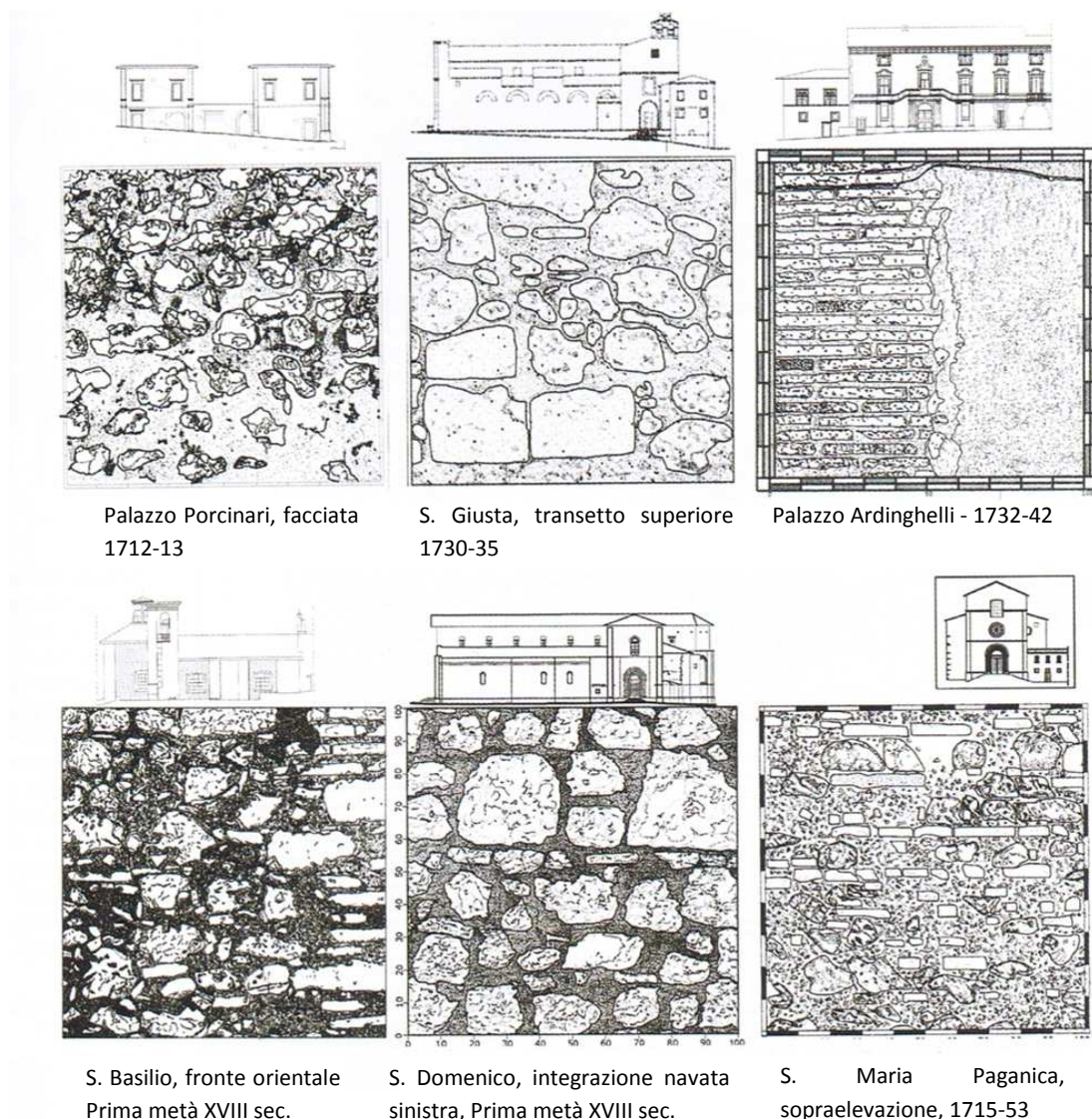


Figura 1.19 - Repertorio di murature costruite dopo il sisma del 1703 in diversi edifici aquilani: prevalgono l'impiego di pietrame minuto e di frammenti di laterizio nonché il reimpiego del materiale recuperato dai crolli, Tratto da *"Edifici storici, stratificazioni e danni nell'Aquilano, una panoramica"* in *"Arkos"*, n°20, pp. 8-17, Luglio/Settembre, 2009.

pratica del “facciatismo”²⁶, cioè dallo svuotamento dei fronti esterni consolidati e dal trapianto interno di fabbriche moderne.

A seguito della localizzazione in un’area a particolare attività sismica, come precedentemente descritto, l’insorgenza frequente di queste violenti episodi ha determinato nel tempo l’uso di ricostruire la città su se stessa (soprattutto dopo i sismi più rilevanti del 1315, 1349, 1461 e 1703) mantenendo perlopiù tracciati e murature preesistenti, scegliendo soluzioni a volte più idonee per contrastare il rischio sismico, a volte meno attente a queste esigenze²⁷. La struttura urbana della città dell’Aquila sintetizza bene la presenza di un tracciato regolatore persistente nel tempo e la pluristratificazione costruttiva di un’architettura più volte ricomposta. La struttura urbana del centro cittadino mostra ancora oggi una forte matrice medievale: il tessuto edilizio è stato sostanzialmente conservato nelle rifusioni successive e puntualmente riaffiora nella distribuzione dei crolli degli edifici all’interno del tessuto urbano.

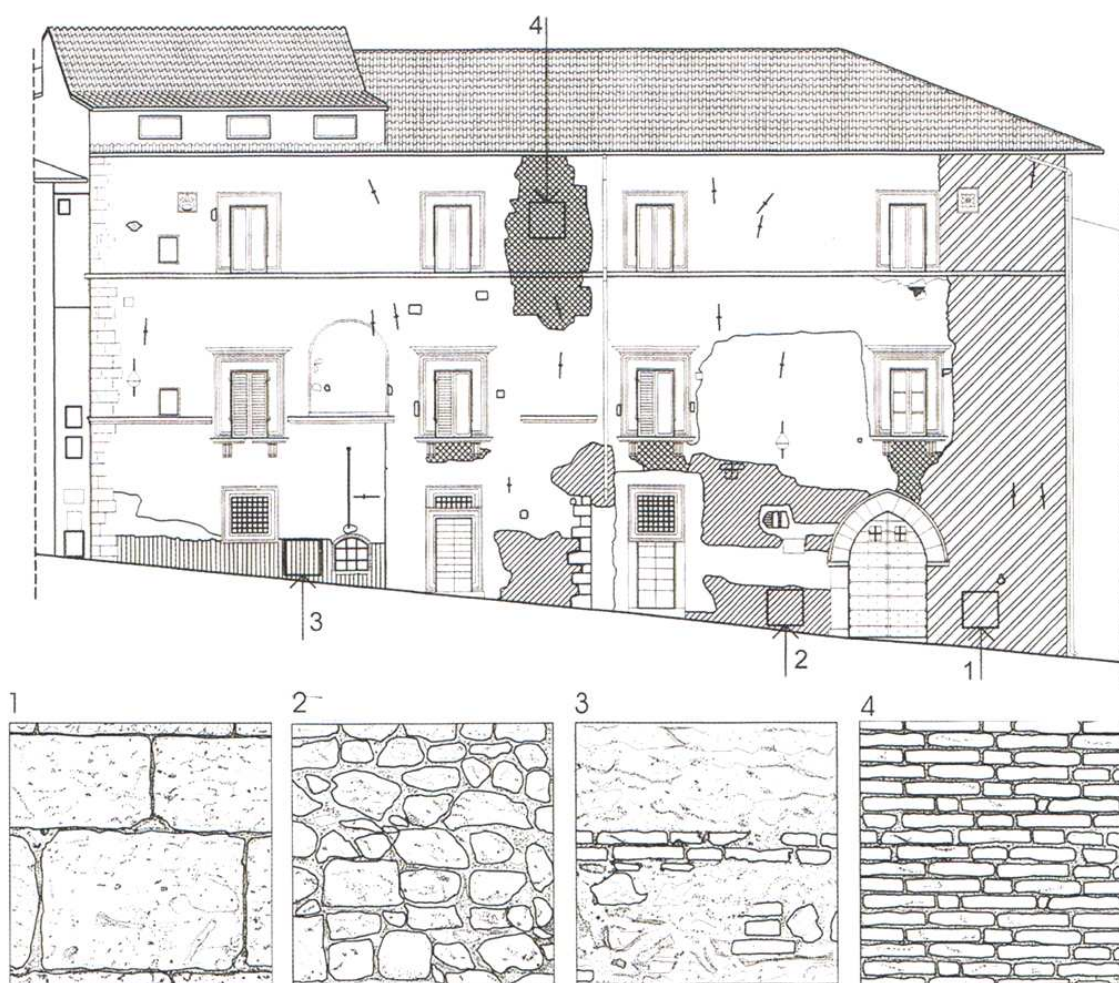


Figura 1.20 – Paramenti murari visibili nel palazzo Gaglioffi all’Aquila: risulta evidente la stratificazione delle strutture medievali (1-conci calcarei in pietra squadrata, 2- conci calcarei in pietra squadrata e bozze a filari, 3- muratura mista di pietrame e filari di laterizi di origine settecentesca, 4-muratura di laterizi. Tratto da “*Edifici storici, stratificazioni e danni nell’Aquilano, una panoramica*” in “*Arkos*”, n°20, pag. 10, Luglio/Settembre,2009.

²⁶ “*Edifici storici, stratificazioni e danni nell’Aquilano, una panoramica*” in “*Arkos*”, n°20, pp. 8-17, Luglio/Settembre,2009

²⁷ Cfr. A. Clementi, E. Piroddi, *Le città nella storia d’Italia: L’Aquila*, Editori Laterza, Bari, 1986, pag 43.

CAPITOLO 2

La chiesa di S. Biagio e l'oratorio di S. Giuseppe dei Minimi nel centro storico dell'Aquila: caratteristiche degli edifici e loro stato di conservazione dopo il sisma del 6 Aprile 2009.

a_ Origine ed evoluzione della chiesa di San Biagio

a.1_ Inquadramento urbano

La chiesa di San Biagio d'Amiternum si trova nel quarto di San Pietro (di Coppito), a breve distanza dal Duomo dei Santi Giorgio e Massimo. Si tratta quindi di un edificio posizionato nel cuore del centro storico della città, in una posizione fra le più antiche essendo di origine duecentesca con assetto urbanistico risalente al XIV secolo¹.

La facciata di San Biagio si apre approssimativamente a nord, sull'omonima piazza, lambita tangenzialmente da via Sassa. Questa era un tracciato storico angioino disposto approssimativamente in direzione est-ovest che da piazza Duomo conduceva sulla via Romana e da qui a Porta Barete². La Facciata posteriore si trova su via del Cembalo di Colantoni, in prossimità della confluenza con via Roio. Ad est la chiesa confina con l'Oratorio di San Giuseppe dei Minimi, con il quale ha una parete in comune, e con edifici ordinari. Questi ultimi sono presenti anche sul lato ovest.

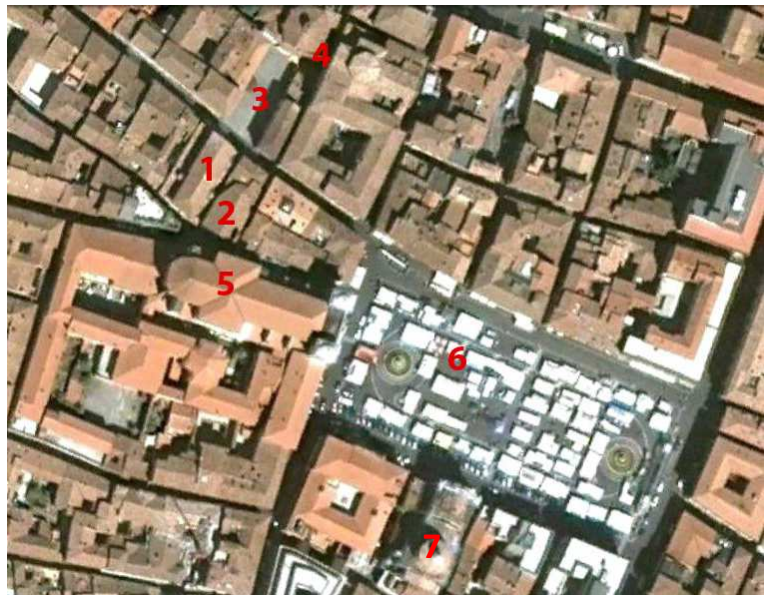


Figura 2.1 – Inquadramento urbano della chiesa di san Biagio. Foto aerea del centro de L'Aquila tratto da Google Earth. Si evidenziano: 1-Chiesa di San Biagio d'Amiternum, 2-Oratorio di San Giuseppe dei Minimi, 3-Piazza San Biagio, 4-Chiesa di Santa Caterina, 5-Duomo dei Santi Giorgio e Massimo, 6-Piazza Duomo, 7 Chiesa di Santa Maria del Suffragio (dell'Animesante).

a.2_ Evoluzione storica

La chiesa di S. Biagio d'Amiternum (oggi ribattezzata San Giuseppe) , in origine del castello di San Vittorino, riveste una notevole importanza nella storia dell'Aquila.

Essa si trova nella parte più antica e centrale della città, in una zona il cui assetto urbanistico, risalente al XIV secolo, risulta essere pressoché invariato fino ai giorni nostri.

¹ Cfr relazione Marsili: *Relazione storico-artistica*

² Cfr A. Clementi, E. Piroddi, *L'Aquila*, Edizioni Laterza, Bari, 1986, pp36-37

L'edificio prospetta la sua facciata verso piazza S. Biagio e colloca la parte absidale in via Roio. Risulta essere inglobato a est dal palazzo dei Piscitelli e a ovest dall'oratorio sconsecrato di S. Giuseppino (San Giuseppe dei Minimi). La facciata è ruotata di circa 8° rispetto alla normale all'asse dell'impianto, secondo la giacitura di Via Sassa (la via dove si colloca il prospetto principale). La Chiesa si trova in stretto rapporto col Duomo dell'Aquila (cattedrale dedicata ai SS. Giorgio e Massimo), trovandosi infatti nelle strette vicinanze e volgendogli le spalle.



Figura 2.2 – Portale della chiesa di san Biagio, oggi contenuta nella facciata dell'Oratorio di san Giuseppe dei Minimi.

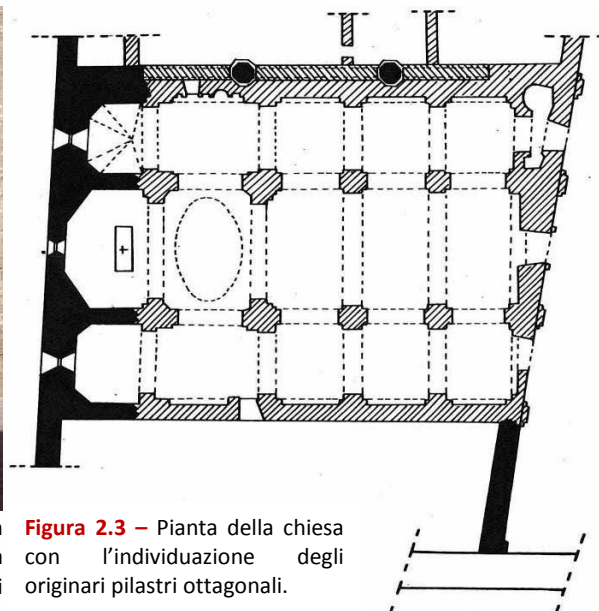


Figura 2.3 – Pianta della chiesa con l'individuazione degli originari pilastri ottagonali.

Il primo impianto della Chiesa di San Biagio, di origini duecentesche, risale alla fondazione della città come fusione di preesistenti castelli. La parte centrale della città venne infatti occupata dai castelli più importanti, come San Vittorino, sede della diocesi di Amiterno.

Tale chiesa originaria fu distrutta da Manfredi nel 1259 e, nella ricostruzione da parte degli Angioini, effettuata a partire dal 1266, essa fu impiantata più a valle rispetto all'attuale chiesa per motivi ancora ignoti.

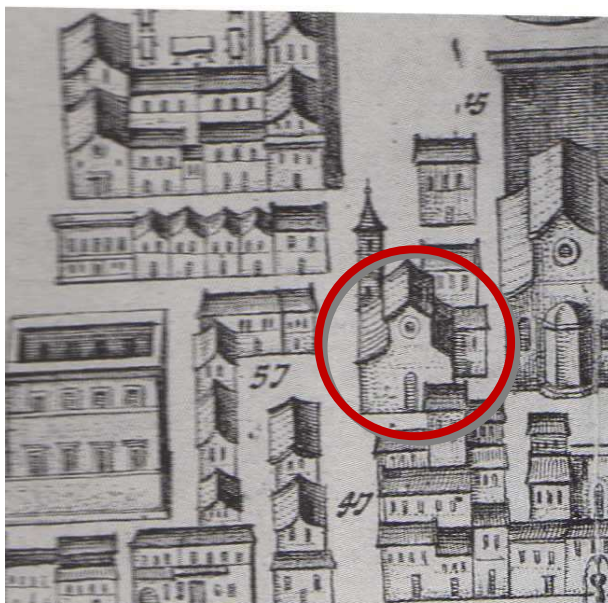


Figura 2.4 - Pianta incisa da Jean Bleau, 1663: Posizione originale dell'edificio ecclesiastico risalente al Duecento la planimetria è parallela alle navate del Duomo

Nel 1315 ci fu un devastante terremoto che portò alla seconda parziale ricostruzione della chiesa che si protrasse fino al 1326 e di cui sono ancora visibili alcune strutture architettoniche tra le quali, la più importante, il portale che offre l'ingresso al San Giuseppino. Altro elemento di questo periodo è il tratto di cortina in pietra conca che si trova a sinistra dell'attuale facciata; essa viene interrotta sulla destra per far posto ad una grande lesena settecentesca, mentre, sul lato opposto, il paramento lapideo aggetta in una parasta a quattro scanalature tipica del Trecento³.

Un ulteriore evento sismico, databile al 1349, può aver portato ad una diversa disposizione della planimetria della chiesa e ad un rifacimento nella posizione attuale.

³ Cfr. O. Antonini, *Chiese dell'Aquila: Architettura religiosa e struttura urbana*, Carsa Edizioni, Pescara, 2004, pag 94-111.

Non si hanno notizie riguardanti il S. Biagio tra il '400 e il '500, tranne per quanto riguarda le decorazioni pittoriche eseguite sulle pareti e attribuibili agli artisti di Santa Giusta, e l'elevazione nel 1432 del monumento equestre ad opera di Gualtiero de Alemania e tutt'oggi godibile. Quest'opera funebre, dedicata a Lalle Il Camponeschi, rappresentante della più potente famiglia aquilana del medioevo, è impostata su criteri tardo-gotici.

Qualche notizia in più è reperibile per il '600; tra il 1629 e il 1661 avvenne la costruzione di varie cappelle laterali che, ridisegnando tutto l'edificio, accusano l'inizio non solo della trasformazione barocca di parte della chiesa, ma anche la preparazione ad una totale reinterpretazione spaziale dettata dalla controriforma gesuitica. Di particolare pregio è la cappella dedicata a San Quinziano dei Quatrari, ancora visibile e posta nell'abside di destra che, con stucchi, dipinti ed arredi, dà un'idea dell'elaborata chiesa barocca disegnata dal Bedeschini.

Il terremoto del 1703, che fu devastante per tutta la zona di San Massimo, portò via con sé sia gli interni seicenteschi che le gloriose strutture precedenti e il problema della ricostruzione si pose immediato per tutte le strutture ecclesiastiche rovinate in quell'occasione. Purtroppo però i lavori procedettero in modo piuttosto lento e probabilmente il progetto non seguì le intenzioni iniziali del 1708, di cui nel '22 esisteva solo una navata laterale. La chiesa di San Biagio iniziò la sua decadenza nel 1754, appena conclusa la ricostruzione; vennero aboliti i privilegi di cui godeva da quasi 500 anni, le venne tolto il titolo di principale chiesa per la comunità e si cessò addirittura di praticare il culto nell'edificio.⁴

Nel 1770 la chiesa fu annessa all'adiacente Oratorio di S. Giuseppe dei Minimi e ne assunse il nome⁵.

Nel 1881, nella navata centrale, è avvenuto il rimontaggio e l'integrazione dell'antico pavimento quattrocentesco mentre il restauro, avvenuto negli anni '20 del secolo scorso, ha comportato nelle navate laterali l'esecuzione di una pavimentazione in mattonelle in cemento e l'esecuzione degli affreschi nella volta centrale, oltre la ritinteggiatura delle pareti e volte laterali.



Figura 2.5 - Pianta di Antonio Vandi, 1753 in cui si vede la planimetria della Chiesa di san Biagio con l'orientamento attuale.

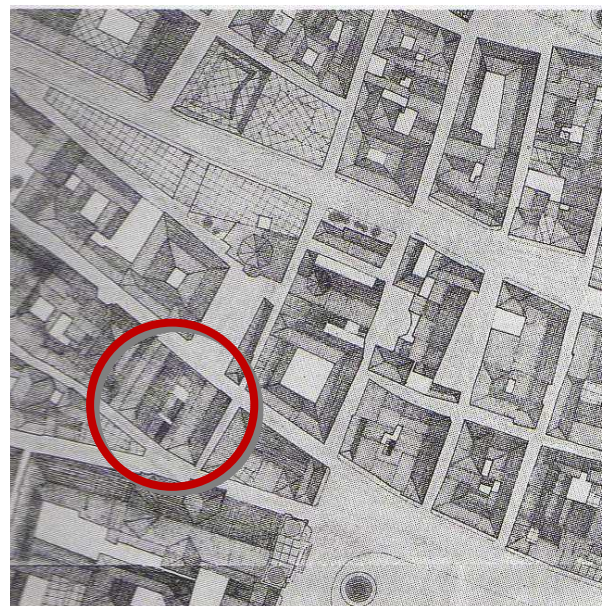


Figura 2.6 - Pianta di Walter Paro, 1989

⁴ Cfr. O. Antonini, *Chiese dell'Aquila: Architettura religiosa e struttura urbana*, Carsa Edizioni, Pescara, 2004, pag 94-111.

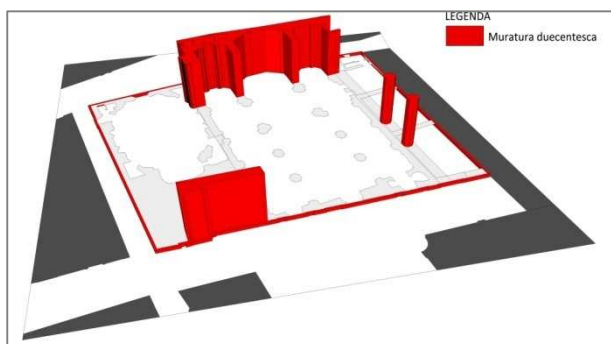
⁵ Cfr. Relazione Marsili: *Relazione storico-artistica*

Durante la prima guerra mondiale la chiesa, ormai abbandonata, fu utilizzata come dormitorio da parte dei soldati, mentre nella seconda metà del '900 divenne la sede di mostre e mercati, rimanendo comunque in un continuo stato di degrado e *abbandono*.

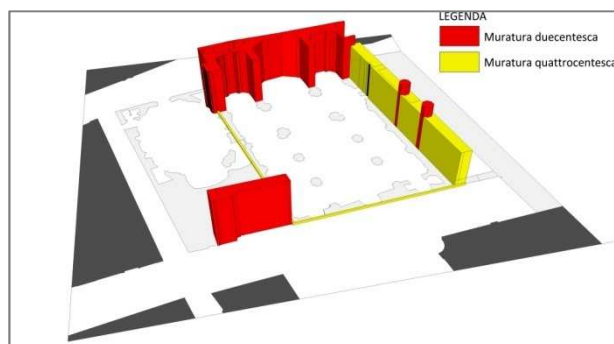
Al 1980 risale la realizzazione, sul preesistente tetto ligneo, di una copertura a travetti precompressi, laterizi e catene, su cordoli di c.a., per intervento del Provveditorato alle Opere Pubbliche dell'Aquila⁶.

Fra il 2005 e il 2006 la chiesa è stata oggetto di restauro che non ha coinvolto le strutture.

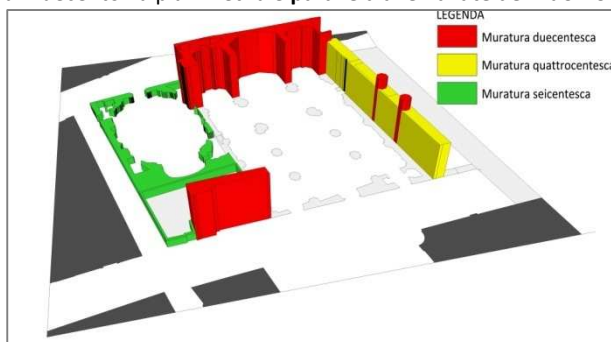
Prima del terremoto del 6 aprile 2009 S. Biagio si presentava nelle sue forme settecentesche con la facciata incompiuta.



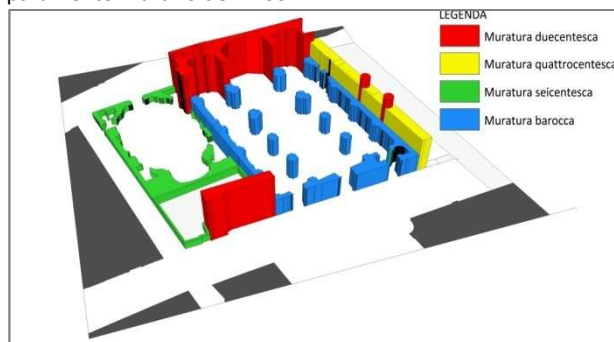
FASE 1 - Posizione originale dell'edificio ecclesiastico risalente al Duecento: la planimetria è **parallela alle navate del Duomo**.



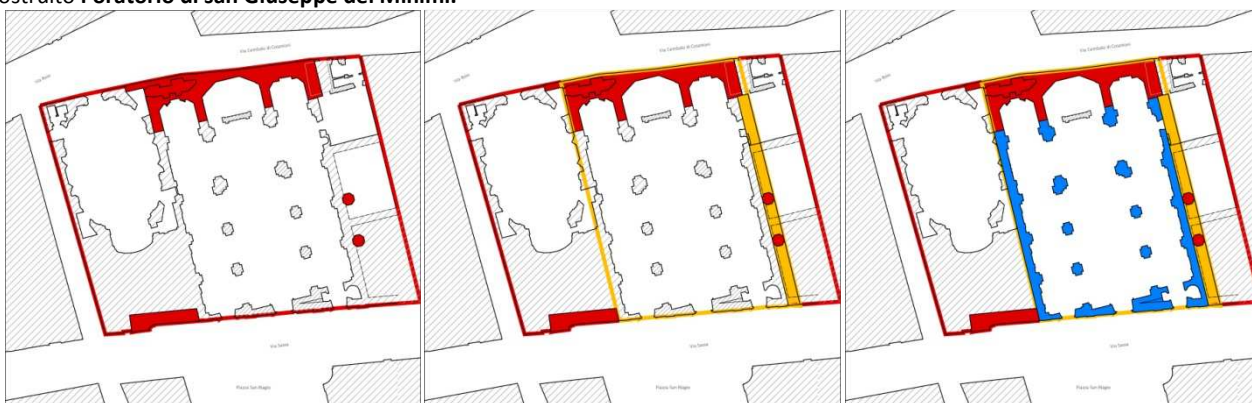
FASE 2 - Posizione odierna **perpendicolare al Duomo** e paramento murario del 1400.



FASE 3 - Nel 1600 ca dallo spazio avanzato dopo la ricostruzione della chiesa con un altro orientamento viene costruito l'**oratorio di san Giuseppe dei Minimi**.



FASE 4 - Configurazione odierna con le **aggiunte degli altari barocchi del 1629** nelle navate laterali.



FASE 1

FASE 2

FASE 4

Figura 2.7 – Fasi costruttive della chiesa di San Biagio.

⁶ Cfr. Relazione Marsili: *Relazione storico-artistica*

Schema cronologico dei principali avvenimenti	
Inizi '200	Nascita della chiesa di San Biagio
1257	Convenzione nella quale si stabiliva che la diocesi aquilana avesse due distinte componenti: la Forconese alla quale andava l'autorità episcopale e l'Amiternina che si incorporava alla prima in cambio di precise autonomie giurisdizionali
1259	Manfredi distrugge la chiesa insieme al resto della città.
1266	Ricostruzione degli Angioini, la chiesa fu impiantata più a valle rispetto l'attuale posizione.
1315	Terremoto che portò alla seconda distruzione di San Biagio ed alla sua ricostruzione.
1349	Altro terremoto che indusse nuovamente la distruzione della chiesa e la sua successiva ricostruzione nella posizione attuale, ortogonale alla precedente.
1629-1661	Costruzione di varie cappelle laterali che, ridisegnando tutto l'edificio, determinano l'inizio della trasformazione barocca di parte della chiesa.
1703	Terremoto devastante per tutta la zona e il problema della ricostruzione si pone immediato per tutte le strutture ecclesiastiche rovinata in codesta occasione.
1754	Inizio del periodo di decadenza della chiesa a seguito dell'abolizione dei suoi privilegi ecclesiastici.
1881	Rimontaggio e integrazione dell'antico pavimento quattrocentesco.
primi anni del '900	Abbandono della chiesa per funzioni sacre e adibita a dormitorio per i soldati.
seconda metà del '900	La chiesa diviene sede di mostre e d esposizioni.
1980	Rifacimento del tetto da parte del ministero dei Lavori Pubblici.
2005	La chiesa viene sottoposta ad un intervento di restauro che coinvolge le strutture.
06 Aprile 2009	Terremoto che causa diverse tipologie di danni.

Tabella 2.1 – Schema cronologico dei principali avvenimenti della chiesa di San Biagio.

a.3_Descrizione del manufatto pervenutoci

La chiesa di S. Biagio ha un impianto a tre navate, concluse ciascuna da un abside, di lunghezza lorda media pari a 28 m e larghezza pari a 21 m; l'altezza dal pavimento al colmo è di 17.5 m. La pianta interna è rettangolare.

La facciata è ruotata di circa 8° rispetto all'asse principale ed è parallela all'asse stradale. Essa riflette la sezione basilicale della chiesa, presentando una zona centrale di maggiore altezza, di 18 m circa, in corrispondenza della navata principale e due zone laterali più basse, alte circa 11 m. La parte inferiore è intonacata probabilmente per difficoltà economiche correlate alla perdita di importanza dell'edificio oppure per la diffusione dell'intonaco dal XIV secolo. La parte superiore è rimasta a rustico, come in altre ricostruzioni aquilane del '700.

Vi sono quattro cappelle su ogni navata laterale e una cappella absidale per lato. La navata principale è coperta da una volta a botte semicircolare (in camorcanna come quella del presbiterio), mentre le prime tre cappelle delle navate laterali sono coperte da volte in mattoni, a pianta circolare e a calotta ribassata. La quarta cappella di ogni navata è coperta da una volta a pianta ellittica con lanterna. Una volta a pianta



Figura 2.8 – Volta in camorcanna a copertura della prima campata della navata centrale

ellittica copre la zona dell'altare. L'abside è coperta da una volta emisferica, delle cappelle absidali la destra è coperta da volta emisferica costolata.

Dal transetto si accede a una sacrestia, coperta da volta padiglione a schifo, e a tre ambienti secondari.

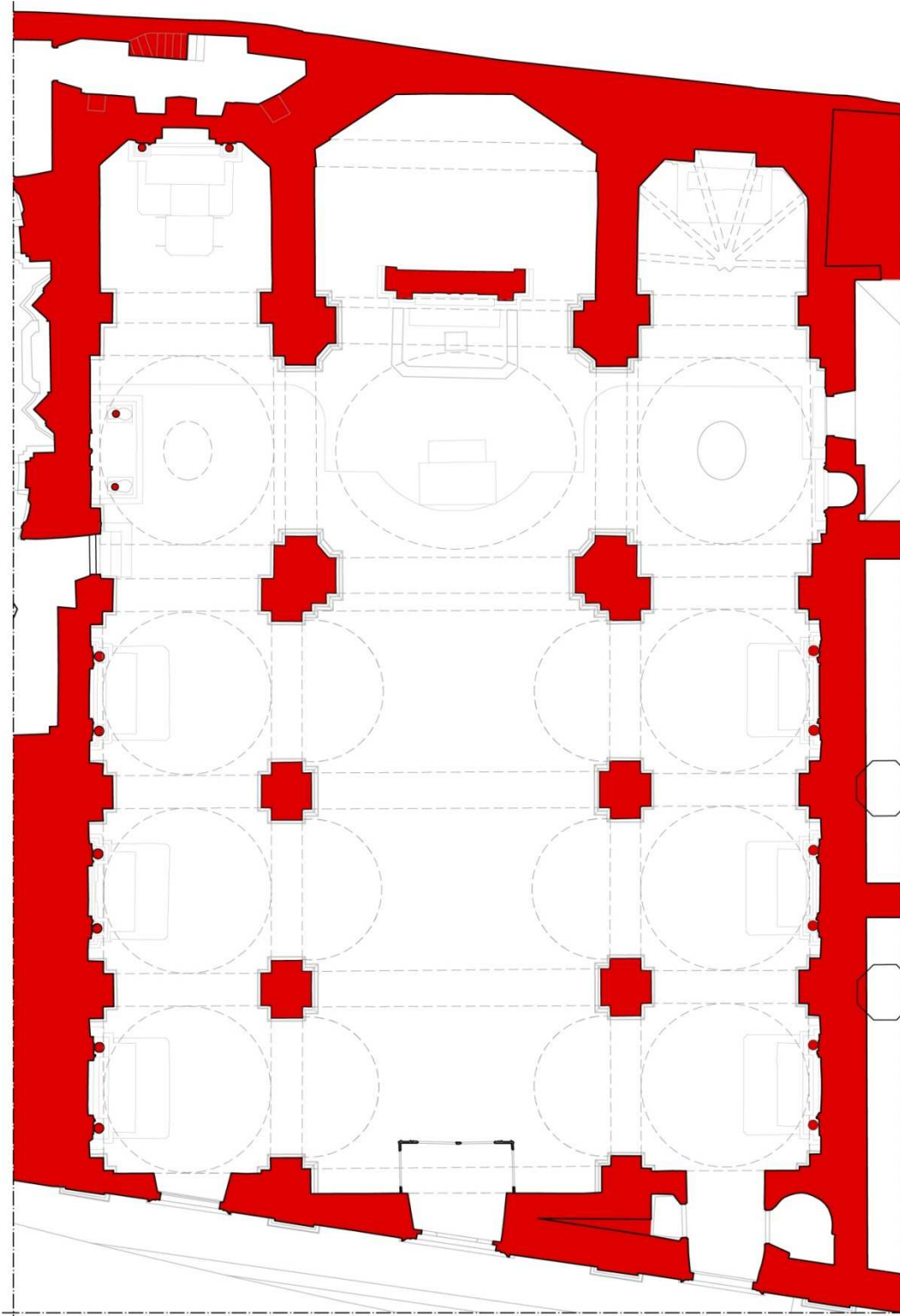


Figura 2.9 – Planimetria della chiesa di san Biagio.



Figura 2.10 – Prospetto su piazza san Biagio.



Figura 2.11 – Prospetto su via Roio

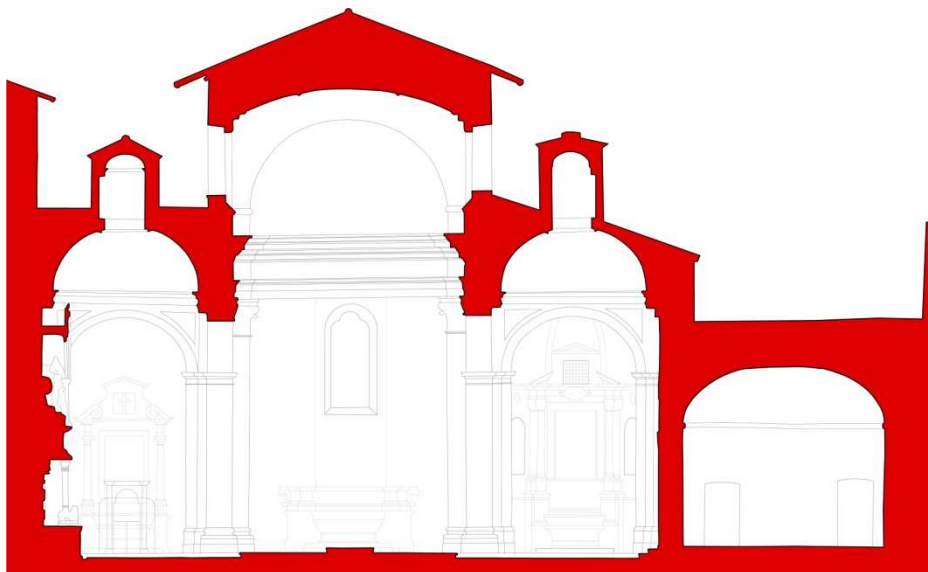


Figura 2.12 – Sezione trasversale verso l'abside



Figura 2.13 – Sezione longitudinale rivolta verso l'oratorio di san Giuseppe dei Minimi.



Figura 2.14 – Sezione longitudinale rivolta verso la sagrestia.

a.4_Tecniche costruttive

Murature in elevazione: La muratura della facciata principale è caratterizzata da apparecchio pieno con elementi irregolari, malta abbondante, ripianamenti laterizi incompleti, ed è inquadrabile nel tipo con ricorsi a tratti di mattoni. Sono presenti ripianamenti incompleti, realizzato con elementi laterizi e caratterizzati da un interasse verticale di circa 1.6 -1.8 m. Sono riconoscibili anche buche pontai, con interasse verticale inferiore a quello dei ripianamenti. La muratura è quindi inquadrabile in quella con ricorsi a tratti di mattoni, benché non sia intonacata e benché tali ricorsi non compaiano sulla facciata verso la piazza⁷.

L'assenza dell'intonaco sulla faccia interna (fig. 2.15) si spiega con la presenza di una fodera muraria sottile, destinata a compensare la rotazione della facciata e restituire allo spazio interno una parete di fondo ortogonale con i muri longitudinali

La muratura del prospetto posteriore e del cleristorio, a faccia a vista, è in pietrame con conci di piccole dimensioni e irregolari, particolarmente diffusa a L'Aquila nel '500 e nel '700⁸. Essa compare anche sulla fronte esterna dei muri longitudinali al di sopra delle navate laterali.

I danni causati dal terremoto hanno messo in evidenza una muratura fatta di mattoni fra le navate centrale e laterali.

Volte: La navata centrale è sovrastata da una volta in camorcanna, ossia con centine lignee, stuoia di canne e intonaco⁹. La volta di San Biagio in camorcanna ha un "arellato", ossia un intrecciato di canne spaccate. Le lacune mostrano la presenza di malta anche sopra le canne¹⁰.

La struttura lignea soprastante, come descrive Marsili (2006) è composta da un sistema a travicelli e tavole piuttosto grossolano, ancorato rigidamente alle

Figura 2.17 - Volta in camorcanna in corrispondenza di una lacuna



Figura 2.15 - Muratura della porzione sommitale della facciata



Figura 2.16 - Muratura del prospetto posteriore su via del Cembalo di Colantoni



⁷ Cfr. L. Zordan, *tecniche costruttive dell'edilizia aquilana*, Carsa Edizioni, Pescara, 1992, pp. 117-120

⁸ Cfr. L. Zordan, *tecniche costruttive dell'edilizia aquilana*, Carsa Edizioni, Pescara, 1992, pag 116

⁹ Cfr. E. Quaglarini, M. D'Orazio, *Recupero e conservazione delle volte in "camorcanna": dalla regola d'arte alle tecniche di intervento*, Edizioni Alilinea, Firenze, 2005, pag 15.

¹⁰ Cfr. Relazione Marsili: *Relazione storico artistica*

capriate mediante tavole chiodate, sostituite nel 2005-2006 da cavetti d'acciaio.

La copertura della navata centrale era costituita, prima del 1980, da capriate lignee con saette, terzere, travicelli e pianelle. Sull'abside è presente una testa di padiglione, verosimilmente con paradossi. Le cupole delle volte laterali sono costituite in laterizi e malta.

Le navate laterali sono coperte da cupolette emisferiche, che divengono a pianta ellittica e a sesto più rialzato in corrispondenza del transetto. Tali cupolette appaiono essere reali, costituite in particolare con muratura di mattoni, resa visibile in qualche punto dai distacchi di intonaco e da alcune lesioni.



Figura 2.18 - Orditura lignea del tetto della navata centrale di san Biagio



Figura 2.19 - Copertura della chiesa di San Biagio

Copertura: La copertura della navata centrale della chiesa di San Biagio era costituita da capriate lignee con saette terzere, travicelli e pianelle.

Al di sopra del tetto originario, nel 1980 è stato realizzato un tetto a travetti precompressi e pignatte laterizie dotato di cordolo perimetrale e tiranti metallici¹¹.

La copertura della navata centrale mostra un lieve restringimento fra la terza campata e il transetto (fig. 2.19). L'estremità al di sopra dell'abside presenta una testa di padiglione, verosimilmente sostenuta da paradossi in corrispondenza dei displuvi.

Le cupolette delle navate laterali non sono emergenti, salvo per la lanterna delle due al di sopra dei bracci del transetto. Questa parte della navata laterale destra appare rialzata rispetto alle tre campate verso la facciata. Nella navata laterale sinistra si nota ugualmente un'eccezione caratterizzata dalla falda che ha spiovente verso via Del Cembalo di Colentoni.

¹¹ Cfr. Relazione Marsili: *Relazione storico artistica*

a.5_Provvedimenti storici per migliorare la risposta al sisma

Volta in camorcanna: Un primo esempio di soluzione volta a migliorare la prestazione sismica dell'edificio è la volta in camorcanna, raccomandata nella trattatistica storica per il risparmio in termini di materiali da impiegare nella volta e nei muri di imposta. Il vantaggio economico è anche garantito dalla possibilità di impiegare soluzioni molto ribassate, consentendo, specie nei palazzi, di contenere le altezze interne. Infine, rispetto ai solai lignei, garantiva un risultato estetico più apprezzato¹².

Soluzione costruttiva leggera, rispetto a una volta reale, la volta in camorcanna è in grado di ridurre le spinte esercitate sulle murature di imposta e di innalzare solo lievemente il baricentro delle pareti con grande vantaggio della risposta sismica¹³.



Figura 2.20 - Volta in camorcanna, messa in luce grazie ad una lacuna avvenuta a seguito del sisma

Catene lignee con capo chiave metallico: Un secondo tipo di presidio impiegato è costituito dall'impiego di catene lignee con capochiave metallico. Una di queste catene, realizzata con elementi lignei giuntati mediante chiodi, è stata messa in evidenza dal crollo in facciata. All'interno della muratura la catena è costituita da elementi lignei giuntati mediante chiodi. Dall'esterno, simili presidi possono apparire interamente metallici. Considerata la posizione interna della muratura, è da assumere che la posa sia avvenuta al momento della costruzione, verosimilmente dopo il 1703. I capochiavi sono presenti anche in senso longitudinale, nella facciata posteriore e in corrispondenza dei vani accessori. La lunghezza, pari a 30 cm circa, e la sezione contenuta connotano questo particolare tipo di capochiavi rispetto ad altri più tardi.

Simili capochiavi sono estremamente diffusi all'Aquila e nel l'aquilano e sono ragionevolmente da datare alle ricostruzioni successive al 1703. Tali presidi, dopo alcune visite del territorio, risultano essere molto diffusi nell'aquilano.



Figura 2.21 - Catena lignea presente in facciata e messa in luce mediante il crollo della facciata stessa vista dall'interno della chiesa.



Figura 2.22 - Capochiavi delle catene presenti in facciata.

¹² Cfr. E. Quaglarini, M. D'Orazio, *Recupero e conservazione delle volte in "camorcanna": dalla regola d'arte alle tecniche di intervento*, Edizioni Alilinea, Firenze, 2005, pag 15.

¹³ Cfr. Sapienza Università di Roma, *Chiesa di San Biagio d'Amiterbum: analisi dei danni causati dal terremoto del 6 Aprile 2009 al patrimonio culturale*, 30 Giugno 2009, pag 19

L'efficacia di queste catene è difficile da valutare. Sono sicuramente molto numerosi i casi in cui non hanno funzionato, apparentemente per cedimento delle connessioni. Il legno immerso nella muratura è infatti particolarmente soggetto a decadere e gli elevati sforzi che si verificano in corrispondenza delle connessioni superano facilmente le capacità resistenti del materiale deteriorato. Assai più raro è vedere i capochiavi metallici cementati. È quindi chiaro che a cedere è usualmente la parte lignea. In conclusione è difficile fare affidamento su questi presidi in occasione di eventi futuri, sia in questo sia in altri edifici analoghi. Tuttavia essi dovrebbero venire conservati quali testimonianze di una pratica costruttiva e di una consapevolezza sismica¹⁴.



Figura 2.23 - Capriata con paletto ligneo

Capriate impalettate: Un'altra tecnica impiegata risulta essere l'utilizzo di paletti lignei per migliorare i collegamenti tra diversi elementi tecnologici che compongono la copertura dell'edificio e la muratura.

Questo dispositivo è stato riscontrato in corrispondenza delle mensole di appoggio delle capriate. Il paletto ligneo attraversa la testa emergente della mensola. Anche questa soluzione si presenta con discreta frequenza all'interno delle costruzioni cittadine e dell'area limitrofa. Se ne possono infatti riconoscere nell'adiacente Oratorio di san Giuseppe dei Minimi, in Santa Maria del Suffragio e in molte altre chiese.

Il provvedimento vale a migliorare il collegamento fra tetto e murature e il ritrovamento del paletto ancora integro suggerisce un provvedimento efficace. Tuttavia esistono alcune incertezze: da un lato potrebbe avere ceduto qualche connessione interna e più debole, dall'altro lato alcuni interventi sulle murature di copertura potrebbero avere trasferito ad altri elementi la funzione di collegamento con le pareti murarie. Ad esempio, nel caso della chiesa di san Biagio, le catene metalliche associate all'intervento del 1980 potrebbero avere completamente esautorato le capriate dalla funzione di collegamento fra muri longitudinali. Anche tali presidi potrebbero venire conservati a testimonianza della conoscenza delle capacità tecniche antisismiche acquisite nel tempo¹⁵.

a.6_Gli interventi recenti di restauro

Gli interventi di restauro recentemente svolti¹⁶ hanno riguardato sia gli elementi esterni (copertura, facciata, ecc..), sia l'interno della chiesa¹⁷. Tutti gli interventi successivamente descritti sono stati tratti dalla relazione storico-artistica redatta dal Soprintendente ai Beni Culturali dell'Aquila, Marsili.

Copertura: si è provveduto alla ricostruzione del manto di copertura, sia della chiesa che dei piccoli locali ad essa annessi, mediante la posa di una nuova guaina impermeabilizzante e l'utilizzo dei precedenti

¹⁴ Cfr. Sapienza Università di Roma, *Chiesa di San Biagio d'Amitebbum: analisi dei danni causati dal terremoto del 6 Aprile 2009 al patrimonio culturale*, 30 Giugno 2009, pp. 19-23

¹⁵ Cfr. L. Sorrentino, E. Raglione, L.D. Decanini, D. Liberatore, *La chiesa di San Biagio all' Aquila*, tratto da: "Arkos", n°20, pp. 67-72, Luglio/Settembre, 2009.

¹⁶ Cfr. Sapienza Università di Roma, *Chiesa di San Biagio d'Amitebbum: analisi dei danni causati dal terremoto del 6 Aprile 2009 al patrimonio culturale*, 30 Giugno 2009, pp. 39-41

¹⁷ Cfr. Relazione Marsili: *Relazione storico artistica*

coppi e contro coppi integrati per il 35% da nuovi elementi dello stesso tipo. Tutti gli elementi di lattoneria sono stati rimossi e adeguatamente sostituiti.

Facciata e prospetti: I prospetti formati da muratura in pietrame irregolare e scaglie di mattoni, dopo la spicconatura e la pulitura eseguita con appositi solventi mediante idropulitrice ed acqua calda, sono stati trattati con il rinzafo dei giunti (malta) a "raso" per evidenziare gli elementi lapidei.

Il restauro delle parti costituite da conci squadrati (quali, ad esempio, paraste e zoccolo di base della facciata) è stato eseguito dopo la rimozione delle scialbature di cemento e la scarnitura dei giunti fino a portarli sottoquadro rispetto ai conci di pietra. Si è allora potuto procedere al rinzafo con malta cementizia e additivi mentre le parti mancanti dei conci sono state integrate. Con idropulitrice è stato eseguito il lavaggio finale.

Parasta in facciata: il capitello caduto della prima parasta di sinistra della facciata è stato consolidato, restaurato e ricollocato. In seguito è stata eseguita la pulitura meccanica mediante idropulitrice, quella chimica con impacchi di carbonato di ammonio delle parti annerite. E' seguita l'integrazione delle parti mancanti, la stuccatura, la patinatura e l'apposizione del protettivo finale.

Portali e finestre: sono stati restaurati attraverso la pulitura meccanica con micro sabbiatrici a ultrasuoni e impacchi di cellulosa imbevuta di carbonato di ammonio per eliminare la crosta nera. La pulitura meccanica con bisturi e spazzole di saggina è servita, prima della patinatura finale, a eliminare i residui di cellulosa. Sono stati poi restaurati i portoni di legno d'entrata e la scalinata d'ingresso, mentre nella parte bassa della facciata sono stati applicati dei prodotti anticrittine.

Pavimentazione: nelle navate laterali e nella sacrestia è stata rifatta dopo la posa di un massetto d'allettamento in pietra locale calcarea, armato con ferri dell'8 e maglia 20x20cm. In occasione sono stati eseguiti degli scavi che hanno portato alla luce, nella zona centrale delle navate laterali, porzioni di muri sottofondazione di larghezza superiore ai 2 metri. Nella navata centrale è stata effettuata la scarciatura dei giunti e la loro pulizia mediante aspiratura, seguita da uno smontaggio e rimontaggio di cinque basole dopo aver sistemato il massetto sottostante. Si è poi passati alla stilatura dei giunti con malta cementizia e al lavaggio finale con idropulitrice e acqua calda.

Muratura umida: presente sulla parete della navata di sinistra, è stata spicconata e pulita per accelerare il processo d'evaporazione ed evitare la comparsa di efflorescenze. Si è poi provveduto alla messa in opera di intonaco macroporoso con legante speciale e nello spessore di 2 cm.

Volta: la struttura in legno della volta in canne e gesso posta sulla navata centrale è stata pulita in superficie e trattata con solventi antitarlo e resine acriliche. In alcuni punti è stata rafforzata affiancando le centine con tavole sagomate. La struttura della volta risultava in buono stato, mentre la parte di aggancio era mal realizzata con tavole chiodate direttamente alle soprastanti capriate in legno, ancora presenti al di sotto del tetto in cemento realizzato nel 1980. Ciò ha comportato movimenti anomali anche in occasione di piccoli eventi sismici, causando martellamenti che hanno portato alla formazione di fessure e lesioni. Per questo sono state tolte tutte le tavole, sostituiti i legni di sostegno agli agganci delle centine e sono state collegate le capriate alle centine con cavetti d'acciaio. Il distacco di alcune pannelle in corrispondenza delle zone più deboli della volta ha provocato ampi squarci, distruggendo le pitture sull'intradosso. La volta è stata allora ricostruita tramite incannucciato e gesso e intonacata, mentre le parti pittoriche sono state reintegrate.

Sottotetto: è stato reso accessibile, dopo la chiusura del 1980, attraverso una piccola finestra in corrispondenza della parte sinistra della navata centrale. Ad essa si accede tramite una scala in acciaio poggiante sulla copertura della navata laterale corrispondente, mentre all'interno è provvisto di passerelle per evitare appoggi sulla volta sottostante.

Cappella absidale: questa cappella seicentesca, terminale della navata di destra, presentava un estremo stato di degrado delle parti pittoriche. Si è proceduto allora alla rimozione dei depositi coerenti ed incoerenti con puntuale preconsolidamento e protezione delle zone più decoese, seguiti da interventi di stuccatura o microstuccatura provvisoria. Il consolidamento è avvenuto con silicato di etile, mentre le operazioni di pulitura sono avvenute in modo graduale, fino ad utilizzare per le concrezioni più tenaci carbonato e bicarbonato di ammonio, disciolti in acqua in soluzione satura. Sulle croste cementizie si è proceduto con l'azione aerobrasiva alimentata ad aria compressa¹⁸.

a.7_Danni in occasione del sisma del 6 Aprile 2009.

La facciata: Il danneggiamento di questa parte è caratterizzato dal collasso della porzione superiore della fascia corrispondente alla navata centrale. Accanto al ribaltamento della porzione sommitale della facciata è da citare anche il ribaltamento del paramento interno di chiusura della navata centrale.



Figura 2.24 - Collasso della porzione superiore della facciata



Figura 2.25 - Collasso della porzione superiore della facciata e della parete a una testa interna.



Figura 2.26 - Crolli della volta in camorcanna sulla navata centrale.

La volta in camorcanna: La volta in camorcanna della navata centrale ha subito due crolli, uno nella prima e uno nella seconda campata, nonché il crollo dell'arco adiacente alla facciata. Tale danni sono imputabili non tanto alle scosse simiche, quanto al distacco e alla conseguente caduta di alcuni elementi dalla copertura soprastante.

Nella scheda per il rilievo del danno tale dissesto è stato inquadrato come meccanismo 8. Non è tuttavia da escludere che il danneggiamento osservato sia dovuto al distacco di piastrelle dalla copertura soprastante; simili problemi si erano infatti verificati in precedenza, pur in assenza di un sisma tanto severo

¹⁸ Cfr. L. Sorrentino, E. Raglione, L.D. Decanini, D. Liberatore, *La chiesa di San Biagio all' Aquila*, tratto da: "Arkos", n°20, pp. 67-72, Luglio/Settembre, 2009.

quale quello del 6 aprile 2009¹⁹. I due crolli nella camorcanna si sono comunque verificati in punti diversi dai tre restaurati nel 2005-2006.

Le cupolette: Sulle cupolette a coperture delle navate laterali, si sono verificate delle lesioni sia di discrete dimensioni che più sottili aventi andamento circolare. A tali fessure si accompagnano lesioni sulle chiavi degli archi fra le campate delle navatelle.

L'interpretazione di un simile danneggiamento non è immediata, bisognerà indagare e conoscere la fattura delle cupolette, dei pennacchi e degli archi.



Figura 2.27 – Lesioni nelle cupolette della navata laterale sinistra

I pilastri fra le navate: I pilastri fra la navata centrale e navate laterali sono caratterizzati, in prossimità della loro base, da lesioni sub-orizzontali. Alcune basi dei pilastri sono invece interessate da lesioni sub-verticali, con espulsione di schegge lapidee.

Lesioni inclinate molto leggere sono presenti anche nelle arcate longitudinali fra i pilastri, talvolta accompagnate dal distacco di intonaco e modanature. Proprio nei punti ove l'intonaco è assente sembra che le fessure non interessino le murature.



Figura 2.28 – Lesioni sub-orizzontali alla base dei pilastri fra navata centrale e navata laterale destra.

Altri danneggiamenti nella chiesa: Sulle murature laterali appaiono lesioni in genere molto sottili. Fa eccezione la sola prima campata della navata sinistra.

Nell'abside sono presenti a sinistra lesioni minori, nell'area centrale ampi distacchi di intonaco interessano le pareti laterali, infine a destra si rilevano infine distacchi di stucchi ed elementi lapidei.

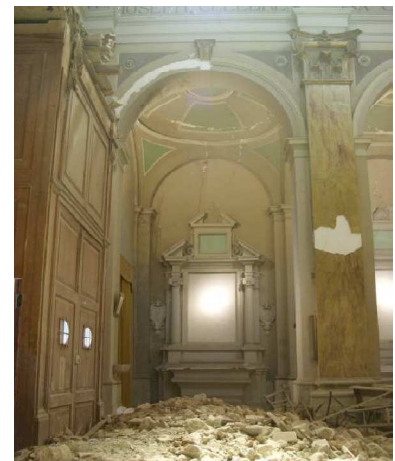


Figura 2.29 – Lesioni sulle murature laterali della prima campata della navata sinistra.

¹⁹ Cfr. Relazione Marsili: *Relazione storico artistica*



Figura 2.30 – Sacrestia: lesione inclinata sulla muratura confinante con palazzo Piscitelli.

Ambienti accessori: Nella sacrestia, la parete laterale destra, verso Palazzo Piscitelli, è interessata da una lesione inclinata. Lesioni analoghe si riscontrano sullo stesso allineamento murario negli ambienti immediatamente adiacenti verso via del Cembalo di Colantoni. Anche la parete opposta è lesionata coerentemente con quanto si può osservare dalla navata destra. In questa parete sono presenti i pilastri ottagonali dell'edificio duecentesco²⁰.

b_ Origine ed evoluzione dell'oratorio di San Giuseppe dei Minimi

b.1_Inquadramento urbano

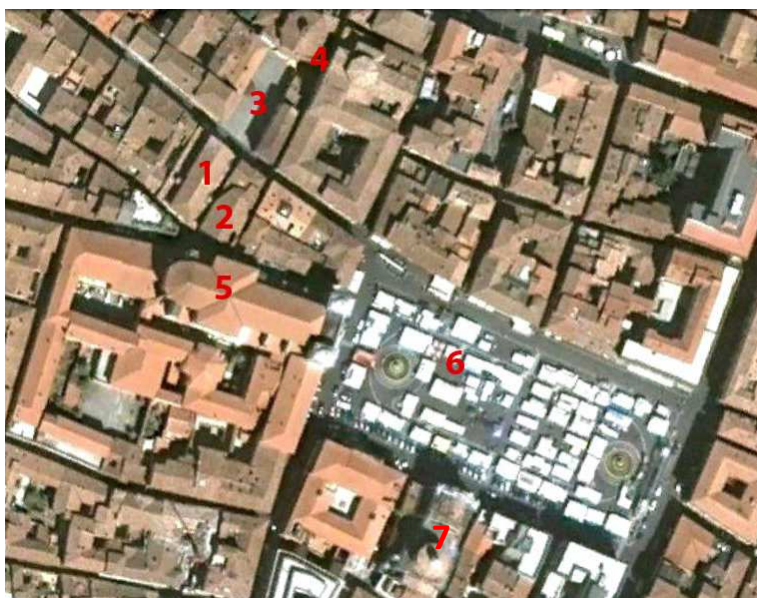


Figura 2.31 - Inquadramento urbano dell'Oratorio di San Giuseppe dei Minimi. Foto aerea del centro de L'Aquila tratto da Google Earth. Si evidenziano: 1-Chiesa di San Biagio d'Amiternum, 2-Oratorio di San Giuseppe dei Minimi, 3-Piazza San Biagio, 4-Chiesa di Santa Caterina, 5-Duomo dei Santi Giorgio e Massimo, 6-Piazza Duomo, 7 Chiesa di Santa Maria del Suffragio (dell'Animesante).

L'oratorio di San Giuseppe dei Minimi si trova nel quarto di San Pietro (di Coppito), a breve distanza dal Duomo dei Santi Giorgio e Massimo. Si tratta quindi di un edificio posizionato nel cuore del centro storico della città, in una posizione fra le più antiche essendo di origine duecentesca con assetto urbanistico risalente al XIV secolo.

La facciata dell'oratorio si apre approssimativamente verso sud, su via Roio. L'edificio ha la parete laterale destra su via degli Scardassieri. A ovest l'oratorio confina con la chiesa di San Biagio, con la quale ha una parte comune, a nord con edifici ordinari.

b.2_Evoluzione storica

Originariamente sul sedime dell'Oratorio di San Giuseppe dei Minimi sorgeva porzione della chiesa di San Biagio in Amiternum. Si presume che, all'epoca, l'edificio della chiesa occupasse – con tutti i suoi locali annessi – tutto l'isolato da via Roio a via degli Scardassieri con risvolto su via Sassa. Il sito doveva costituire la zona anteriore del piedicroce della chiesa amiternina, che dalle fonti consultate risultava ortogonale all'odierna. Verosimilmente dopo il terremoto del 1349, ricostruita San Biagio con l'orientamento nord-sud odierno, il sito, tagliato fuori dal nuovo spazio chiesastico, fu adattato ad altri usi.

A seguito del grande fervore di rinascita e di mutamenti che si verifica in zona aquilana intorno al XVIII secolo, la Confraternita appartenente alla congregazione del Suffragio fece costruire l'odierno Oratorio di

²⁰ Cfr. Sapienza Università di Roma, *Chiesa di San Biagio d'Amiternum: analisi dei danni causati dal terremoto del 6 Aprile 2009 al patrimonio culturale*, 30 Giugno 2009, pp. 45-46

san Giuseppe dei Minimi nel 1649 su un sito adiacente alla chiesa di San Biagio. Assumendo a parametro dimensionale gli spiccati degli altari marmorei li installati dal Ferradini nel 1701, successivamente smontati e ricollocati nella nuova chiesa del Suffragio sulla Piazza del Duomo, la fabbrica era originariamente “un edificio di non disprezzabile ampiezza, sebbene ad una sola navata e con sole tre ‘cappelle’ compresa l’absidale attorno all’aula centrale”²¹.

Nonostante il terremoto del 1703, che ridusse in rovine l’isolato adiacente, l’edificio “fu grandemente lesionato e deteriorato” ma fu comunque in grado di poter ospitare per ben quattro volte la riunione del Consiglio Cittadino²².

Nonostante la possibilità di farlo tornare all’antico splendore e la sua capacità di essere ancora utilizzato a seguito del precedente terremoto, i confratelli del Suffragio espressero il desiderio di procurarsi una nuova sede, di maggiori dimensioni e in un luogo più importante. Nel 1708 la Curia aquilana autorizzò tale costruzione designando la nuova sede all’interno della Piazza Grande ed eresse la Chiesa del Suffragio, detta l’Animesante. Inoltre la Curia dispose di trasportare i “conci caduti durante l’episodio tellurico su via Sassa, salvo quelli caduti di fronte alla chiesa di San Biagio”²³. A seguito dell’ evento sismico del 1703 cominciò un periodo di estrema decadenza dell’edificio, incentivato dal trasferimento delle sede nei nuovi locali collocati all’interno della Piazza.

Con la costruzione negli anni 1714-1719 della nuova chiesa sulla Piazza Maggiore, il vecchio Suffragio dovette continuare a funzionare in tono ridotto, rimanendo con le strutture sistemate alla meglio ma ben agibili nei locali annessi. Tale situazione terminò nel 1770 quando l’Oratorio fu ceduto e divenne sede definitiva della Confraternita di San Giuseppe dei Minimi che avviò un’intensa opera di ricostruzione conclusasi nel primo decennio del XIX secolo. In seguito, nel 1819, questa Congrega ingloberà anche la contigua chiesa di San Biagio rimasta in rovina e senza parrochiani. A seguito di tale passaggio di proprietà la chiesa assunse il titolo attuale di San Giuseppe.

Non conosciamo il disegno architettonico del vecchio Suffragio degli anni intorno al 1646. Stando alla rilevanza e alla formosità dei due altari barocchi del 1701, si direbbe che l’edificio doveva essere fortemente evocativo della migrazione stilistica del registro manierista di influsso romano verso le forme della nuova plastica barocca. Si riconosce all’impianto architettonico di questo edificio di avere contribuito ad introdurre e imporre all’Aquila l’ordine architettonico classico, nonché a diffondervi i canoni dell’architettura manierista romana e plastica barocca²⁴.

La data 1770, recentemente rinvenuta sugli stucchi dell’altare, fissa i tempi di esecuzione della fabbrica agli ultimi anni sessanta del XVIII secolo, confermando che fu la Confraternita di San Giuseppe di Minimi a



Figura 2.32 – L’Oratorio di San Giuseppe prima dei restauri della fine degli anni 1990

²¹ O. Antonini, *Chiese dell’Aquila: Architettura religiosa e struttura urbana*, Carsa Edizioni, Pescara, 2004, pag 208.

²² G. Valentini, *Oratorio di San Giuseppe dei Minimi un nuovo spazio musicale per la città*, GTE L’Aquila, L’Aquila, www.solistiaquilani.it, pag 7.

²³ O. Antonini, *Chiese dell’Aquila: Architettura religiosa e struttura urbana*, Carsa Edizioni, Pescara, 2004, pag 208.

²⁴ O. Antonini, *Chiese dell’Aquila: Architettura religiosa e struttura urbana*, Carsa Edizioni, Pescara, 2004, pag 208.

prendere l'iniziativa della ricostruzione che oggi vediamo. A seguito dell'inconfondibile piccolo campanile a cima circonflessa che si nota nelle ricostruzioni grafiche del periodo²⁵ all'interno del prospetto della Piazza Grande, è possibile dedurre che nel 1806 i lavori di adeguamento erano già stati eseguiti o in via di conclusione.

L'esperimento tardo barocco cui volse la ricostruzione, si estrinseca nelle forme dell'odierna articolazione spaziale limitatamente all'interno, ad ogni modo incompiuto nell'accecamento dell'invaso cupolare, deponendo così a sostegno della restituzione di un altro significativo esempio di Settecento maturo aquilano.

Dell'originaria fronte, la cui conformazione plastica organizzava il proseguo dello spiccato absidale di San Biagio, non restano segni visibili, eccezione fatta per il piccolo corpo del campanile dal coronamento circonflesso. La versione barocca, visibile ancora su vecchie foto, aveva arrangiato su tale parete un disegno caratteristico a coronamento circonflesso, come la piccola vela campanaria che spunta sulla sommità laterale di destra. Il prospetto era tripartito in specchiature ed intonaco, al centro evidenziati in lieve altorilievo una fascia verticale che includeva nelle sue linee il portale medioevale suddetto e, in alto, una finestratura a mostre orecchiate e timpano curvilineo rialzato²⁶.

Attualmente, l'Oratorio, avendo perduto al sua funzione sacra è divenuto sede del gruppo musicale "Solisti Aquilani" che in questo edificio trova posto per svolgere la propria arte e tenere concerti²⁷.

Schema cronologico dei principali avvenimenti	
1649	Costruzione dell'Oratorio di San Giuseppe dei Minimi.
1701	Installazione degli altari barocchi del Ferradini.
1703	Grande terremoto che causa discreti danni alle strutture dell'Oratorio.
1708	Concessione della Curia aquilana alla costruzione di un oratorio, in sostituzione a quello danneggiato nel terremoto, nella Piazza Grande.
1714-1719	Costruzione del nuovo oratorio che riduce le funzioni nell'oratorio precedente.
1770	L'Oratorio viene ceduto alla Confraternita di San Giuseppe dei Minimi dalla quale ne prende il nome.
1770	La Confraternita inizia un'intensa opera di ricostruzione.
1819	La Confraternita ingloba anche l'adiacente Chiesa di San Biagio.
1990 circa	Avendo perduto la sua funzione sacra, l'Oratorio diviene sede del gruppo musicale "Solisti Aquilani".

Tabella 2.2 – Schema cronologico dei principali avvenimenti dell'Oratorio di san Giuseppe dei Minimi.

²⁵ Stampe realizzate in occasione del giuramento degli abitanti della provincia a Giuseppe Napoleone I.

²⁶ O. Antonini, *Chiese dell'Aquila: Architettura religiosa e struttura urbana*, Carsa Edizioni, Pescara, 2004, pag 209.

²⁷ G. Valentini, *Oratorio di San Giuseppe dei Minimi, un nuovo spazio musicale per la città*, 2007, www.solistiaquilani.it

b.3_Descrizione del manufatto pervenutoci

Lo stato odierno della facciata a due spioventi con fondo a intonaco grezzo, oculo in alto due monofore ogivali trilobate poste a lato del portale trecentesco, è una ricostruzione del Riccoboni negli anni Trenta del '900. La finestra circolare è di restauro, ma le monofore appartenute alla chiesa di San Biagio due-trecentesca erano murate in sito. Con questo intervento è stata riottenuta la continuità con gli elementi dell'abside di San Biagio, con la quale offre una configurazione unitaria.



Figura 2.33 - San Giuseppe dei Minimi, fronte.



Figura 2.34 - San Giuseppe dei Minimi, l'altare.

L'attuale conformazione esterna non lascia intendere pressoché nulla dello spazio interiore.

All'interno l'aula si sviluppa in una espansione ellittica caratterizzata da paraste in ordine corinzio che definiscono cappelle ai vertici dei due assi perpendicolari ed intercolumni concavi radiali. Solo la cappella absidale si incunea in profondità. Gli altari delle cappelle sono ornati da stucchi dorati mentre le porte di passaggio sono sovrapposte da tribunette a coronamento arcuato caricate di ulteriori, da angeli e medaglioni. Ai quattro angoli sono presenti alcuni ambienti accessori. Da quello a sud ovest, si accede con una scala alla cantoria di controfacciata.



Figura 2.35 – Prospetto su via Roio e Via Cembalo di Colantoni. A destra l'oratorio mentre a sinistra la facciata posteriore di san Biagio.

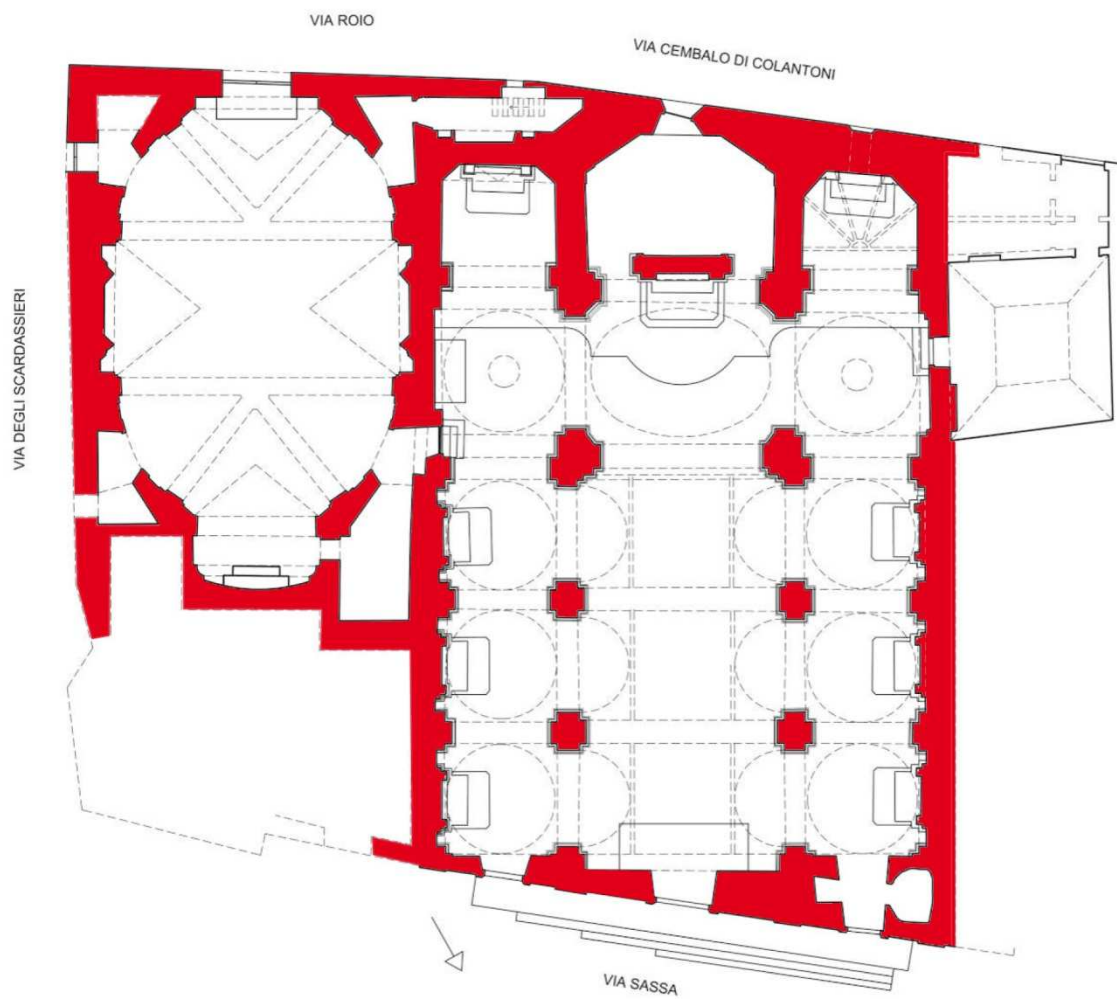


Figura 2.36 – Planimetria dell’oratorio di san Giuseppe dei Minimi a sinistra, a destra l’impianto di san Biagio.

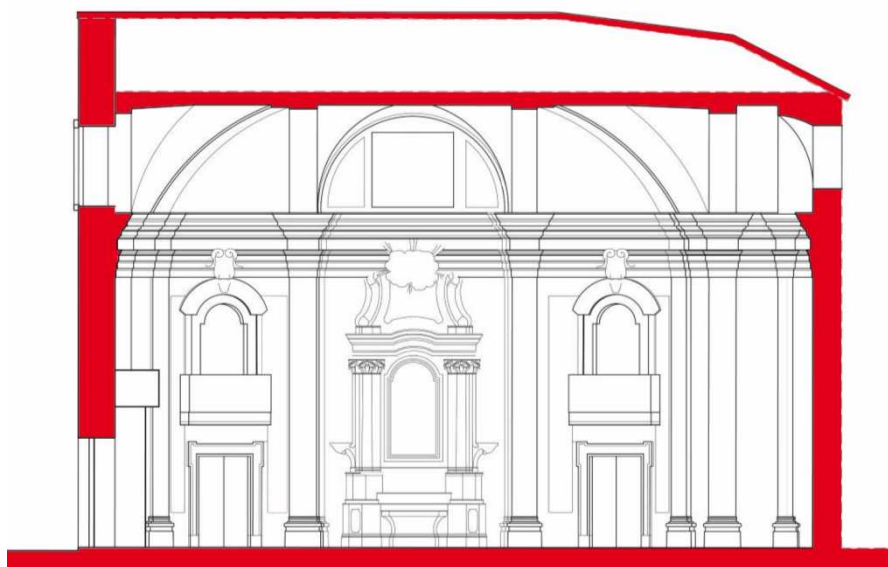


Figura 2.37 – Sezione longitudinale verso la chiesa di san Biagio.



Figura 2.38 – Sezione longitudinale verso via degli Scardassieri.

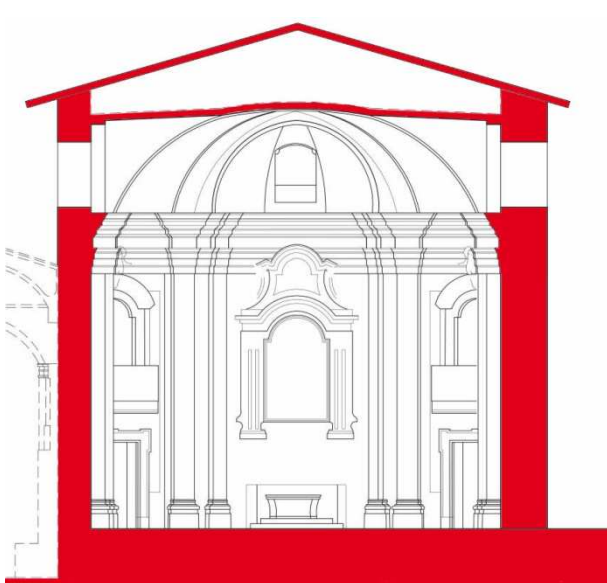


Figura 2.39 – Sezione trasversale verso l'abside.

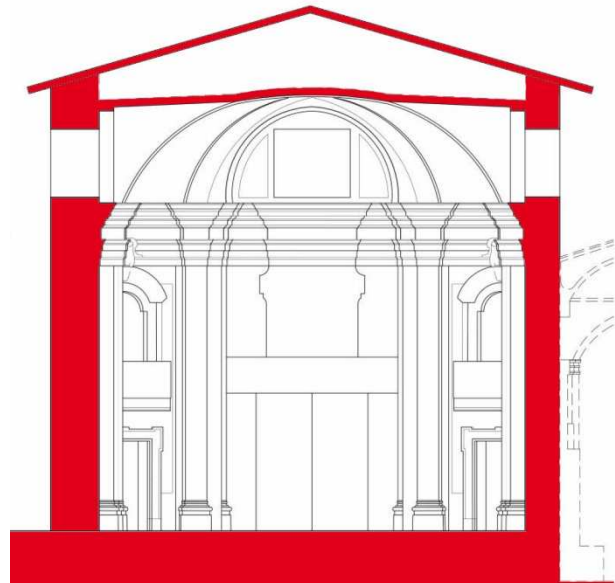


Figura 2.40 – Sezione trasversale verso la facciata.

b.4_Tecniche costruttive

Murature in elevazione: La muratura dell'Oratorio si è dimostrata visibile, a livello del paramento, in facciata e nella parete laterale su via degli Scardassieri. Il tessuto trasversale è visibile, molto limitatamente, all'attacco tra le due pareti, in corrispondenza del meccanismo di ribaltamento della facciata.

La muratura delle due facciate non è inquadrabile nel cosiddetto "apparecchio aquilano", quanto piuttosto alla muratura in pietrame con conci di piccole dimensioni e irregolari. Tale muratura, appare particolarmente diffusa nel Cinquecento e nel Seicento a L'Aquila. Essa compare anche sulla facciata esterna del muro longitudinale al di sopra della confinante navata laterale di San Biagio. Qui sono presenti più diffusamente frammenti laterizi²⁸.

²⁸ L. Zordan, *tecniche costruttive dell'edilizia aquilana*, Carsa Edizioni, Pescara, 1992, pp. 80-111

Nonostante l'innesco del meccanismo di distacco della facciata, la muratura della facciata stessa non mostra segni di disgregamento.

L'ammorsamento in angolo fra via Roio e via Scardassieri si è dimostrato di modesta qualità, essendo la muratura caratterizzata da elementi piccoli e non squadrati²⁹.



Figura 2.41 – Porzione sommitale di facciata



Figura 2.42 – Ammorsamento in angolo fra via Roio e via degli Scardassieri, vista esterna.



Figura 2.43 - Ammorsamento in angolo fra via Roio e via degli Scardassieri, vista interna.

Volte: Non è stato possibile constatare le caratteristiche costruttive della volta principale che tuttavia, sulla base delle informazioni storiche e delle lesioni, dovrebbe essere una controsoffittatura.

Per quanto è stato possibile osservare nei punti dove l'intonaco si è distaccato, gli ambienti d'angolo sono coperti con voltine di mattoni (fig. 30)³⁰.

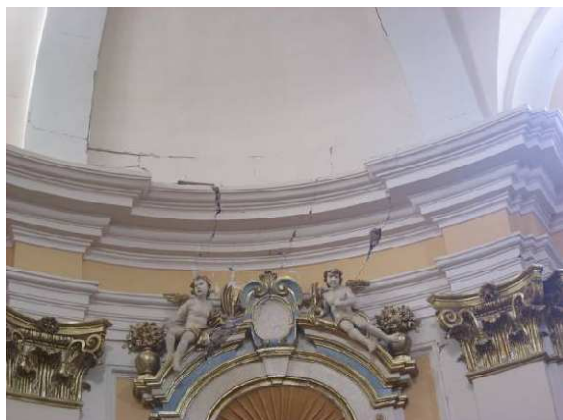


Figura 2.44 – Lesioni sulla muratura d'elevazione e sull'imposta della volta principale, lato sud est.



Figura 2.45 – Volta di mattoni al di sopra dell'ambiente d'angolo sud est (vista dal basso).

Copertura: il tetto dell'Oratorio non è noto nella sua fattura. Dalla presenza di un soffitto piano, prima dei restauri della fine degli anni 1990, si può ipotizzare la presenza di capriate lignee. Una capriata impalettata è presente verso l'abside³¹.

²⁹ Sapienza Università di Roma, *Chiesa di San Giuseppe dei Minimi: analisi dei danni causati dal terremoto del 6 Aprile 2009 al patrimonio culturale*, 30 Giugno 2009, pag 9

³⁰ Sapienza Università di Roma, *Chiesa di San Giuseppe dei Minimi: analisi dei danni causati dal terremoto del 6 Aprile 2009 al patrimonio culturale*, 30 Giugno 2009, pag 10

³¹ Sapienza Università di Roma, *Chiesa di San Giuseppe dei Minimi: analisi dei danni causati dal terremoto del 6 Aprile 2009 al patrimonio culturale*, 30 Giugno 2009, pag 10

b.5_Provvedimenti storici per migliorare la risposta al sisma

I danneggiamenti subiti dall'Oratorio in occasione dei numerosi eventi sismici che hanno colpito la città dalla sua fondazione sono raramente noti con specifico riferimento all'edificio in analisi.

All'interno dell'Oratorio di San Giuseppe sono riscontrabili però diverse soluzioni costruttive che possono essere associate all'intento di migliorare le prestazioni dell'edificio stesso in relazione ai fenomeni tellurici ricorrenti.



Figura 2.46 - Capochiavi presenti in facciata

Catene lignee con capochiave metallico: un esempio di provvedimento resistente al sisma è costituito dalle catene lignee con capo chiave metallico. Una di queste catene è stata messa in evidenza dal fuori piombo della facciata e dalla sua conseguente lesione. Considerata la posizione all'interno del volume murario è da assumere che la posa del tirante sia avvenuta al momento della costruzione del muro, verosimilmente nel Settecento ma già diversi decenni dopo il sisma del 1703. Mentre la catena in senso stretto è lignea, i capochiavi sono metallici. Tali capochiavi sono presenti anche in senso longitudinale, anche se interrotti dalla finestra circolare. Non è stato possibile valutare se siano presenti analoghe catene anche nella zona absidale³².

Simili capochiavi sono estremamente diffusi a L'Aquila e nell'aquilano e sono ragionevolmente da datare alle ricostruzioni successive al 1703. Tali elementi si possono riconoscere anche nell'adiacente chiesa di San Biagio e in molte altre chiese della zona³³.

L'efficacia di queste catene è difficile da valutare. Sono sicuramente molto numerosi i casi in cui non hanno funzionato, apparentemente per cedimento delle connessioni. Il legno immerso nella muratura è infatti particolarmente soggetto a decadere e gli elevati sforzi che si verificano in corrispondenza delle connessioni superano facilmente la capacità del materiale deteriorato. Assai più raro è vedere i capochiavi metallici cementati. È quindi chiaro che a cedere è usualmente la parte lignea. In conclusione è difficile fare affidamento su questi presidi in occasione di eventi futuri, sia in questo che in altri edifici analoghi. Essi dovrebbero tuttavia essere conservati quali testimonianza di una pratica costruttiva e di una consapevolezza sismica.



Figura 2.47 - Capriata con paletto ligneo visto da via Roio

Capriate impalettate: un altro esempio è il dispositivo riscontrato in corrispondenza della testa della capriata di fondo. Non è chiaro se esistessero altre capriate di questo tipo e se siano state rimosse, eccetto questa, in occasione dei restauri di fine millennio. L'intervento consiste in un paletto ligneo che attraversa la testa emergente delle catene, o di una mensola immediatamente accostata.

Il provvedimento va quindi a migliorare il collegamento fra tetto e muratura. Anche questa soluzione si presenta con una certa frequenza

³² Sapienza Università di Roma, *Chiesa di San Giuseppe dei Minimi: analisi dei danni causati dal terremoto del 6 Aprile 2009 al patrimonio culturale*, 30 Giugno 2009, pp 13-16

³³ L. Zordan, *tecniche costruttive dell'edilizia aquilana*, Carsa Edizioni, Pescara, 1992, pp. 80-111

all'interno della città e nell'area circostante. Di nuovo si possono infatti riconoscere capriate impalettate nell'adiacente San Biagio e in molte altre chiese sia della città che della provincia.

In tutti i casi riscontrati il paletto appare integro. Da ciò si potrebbe intuire una certa efficacia del provvedimento. Tuttavia esistono due incertezze. Da un lato potrebbe avere ceduto qualche connessione interna, più debole, che ha portato a cimentare solo blandamente il presidio. Dall'altro lato, interventi sulle strutture di copertura potrebbero avere trasferito ad altri elementi la funzione di collegamento con le pareti murarie. Sarebbe opportuno indagare maggiormente al fine di individuare il reale comportamento del sistema. In ogni caso anche questi presidi dovrebbero essere conservati quali testimonianza di una pratica costruttiva e di una consapevolezza sismica³⁴.

b.6 _Gli interventi recenti di restauro

I restauri effettuati la fine degli anni '90 del 1900 sono troppo poco noti perché se ne possa azzardare un'analisi.

Il collegamento fra facciata e murature longitudinali non appare del tutto adeguato ma non è chiaro se il restauro abbia interessato questa porzione di edificio³⁵.



Figura 2.48 – Collegamento fra facciata e muro longitudinale: estremo destro



Figura 2.49 – Collegamento fra facciata e muro longitudinale: estremo sinistro

b.7 _Danni in occasione del sisma del 6 Aprile 2009.

L'Oratorio di San Giuseppe dei Minimi è stato visibilmente danneggiato dal sisma del 6 Aprile 2009, tanto da venire anche ripreso dagli organi di stampa. Anche se il danno che appare maggiore è il meccanismo di ribaltamento della facciata, sono presenti molti altri danni.



Figura 2.50 – Innesco del meccanismo di ribaltamento di facciata.

La facciata: Il danneggiamento della facciata è caratterizzato dall'innesco del ribaltamento che crea un fuori piombo si può stimare in un angolo di circa 0.69° . Oltre questa problematica, il fronte presenta una lieve lesione verticale.

Al ribaltamento della facciata, sono legate diverse lesioni visibili all'interno dell'aula e negli ambienti secondari d'angolo. In particolari in questi ultimi è possibile rilevare il distacco della facciata dalle strutture orizzontali. Sui lati della cantoria è possibile rilevare lesioni sub-orizzontali, anche se di ampiezza molto inferiore alle precedenti. Non è quindi da escludere che l'inserimento dell'elemento architettonico della

³⁴ Sapienza Università di Roma, *Chiesa di San Giuseppe dei Minimi: analisi dei danni causati dal terremoto del 6 Aprile 2009 al patrimonio culturale*, 30 Giugno 2009, pp 17-18

³⁵ Sapienza Università di Roma, *Chiesa di San Giuseppe dei Minimi: analisi dei danni causati dal terremoto del 6 Aprile 2009 al patrimonio culturale*, 30 Giugno 2009, pag 19

cantoria stessa abbia comportato un indebolimento dei maschi murari³⁶.

Vela campanaria: la vela campanaria, a prima vista, ha subito la fessurazione del fornice verso via Roio ed un fuori piombo residuo verso via degli Scardassieri.



Figura 2.53 – Innesco del meccanismo di ribaltamento della vela campanaria.

Abside: I dissesti più marcati, dopo quelli di facciata e vela campanaria, riguardano la parte absidale. Qui è possibile osservare un quadro fessurativo caratterizzato da lesioni sub-verticali che interessano sia la parete di fondo sia delle pareti laterali.



Figura 2.54 - Lesioni nella parete di fondo dell'abside

Ambienti d'angolo: Le strutture orizzontali di tutti e quattro gli ambienti d'angolo sono caratterizzate da lesioni. Tali lesioni si prolungano in genere sulle murature verticali, localizzandosi perlopiù all'incrocio murario.



Figura 2.55 – Lesioni nelle strutture orizzontali degli ambienti d'angolo, angolo di nord est.

³⁶ Sapienza Università di Roma, *Chiesa di San Giuseppe dei Minimi: analisi dei danni causati dal terremoto del 6 Aprile 2009 al patrimonio culturale*, 30 Giugno 2009, pp 26-31



Figura 2.56 - Lesioni sub-orizzontali a sinistra dell'abside

Altri danneggiamenti: Lesioni sub-orizzontali molto visibili sono visibili ai lati dell'abside. Esse possono forse essere associate ad un'interazione con le strutture orizzontali degli ambienti d'angolo. Ai fuori piombo in prossimità degli altari laterali è stato possibile associare solo lesioni molto modeste.³⁷

³⁷ Sapienza Università di Roma, *Chiesa di San Giuseppe dei Minimi: analisi dei danni causati dal terremoto del 6 Aprile 2009 al patrimonio culturale*, 30 Giugno 2009, pag 37

BIBLIOGRAFIA:

- O. Antonini, *Chiese dell'Aquila: Architettura religiosa e struttura urbana*, Carsa Edizioni, Pescara, 2004.
- M. Centofanti, *L'Aquila 1753-1983: il restauro della città*, Libreria Colacchi, L'Aquila, 1984.
- D. Chiodi, *Le 170 chiese di L'Aquila dal Duecento al Novecento*, Editrice Futura, L'Aquila, 1988.
- G. Valentini, *Oratorio di San Giuseppe dei Minimi un nuovo spazio musicale per la città*, GTE L'Aquila, L'Aquila, 2007, www.solistiaquilani.it.
- M. Dander, M. Moretti, *Architettura civile Aquilana dal XIV al XIX secolo: catalogazione e schedatura degli edifici di rilevante interesse storico e artistico nella città dell'Aquila*, Edizione L. U. Japadre, L'Aquila, 1974.
- D. Fiorani, *Edifici storici, stratificazioni e danni nell'Aquilano, una panoramica*, tratto da: "Arkos", n°20, pp. 8-17, Luglio/Settembre, 2009.
- C. Marsili, *Relazione storico-artistica*.
- Politecnico di Milano e Università degli Studi di Padova, *Chiesa di San Biagio Amiterno L'Aquila*, Milano, Luglio 2009.
- E. Quaglarini, M. D'Orazio, *Recupero e conservazione delle volte in "camorcanna": dalla regola d'arte alle tecniche di intervento*, Edizioni Alilinea, Firenze, 2005
- Sapienza Università di Roma, *Chiesa di San Biagio Amiternum: analisi dei danni causati dal terremoto del 6 Aprile 2009 al patrimonio culturale*, 30 Giugno 2009.
- Sapienza Università di Roma, *Chiesa di San Giuseppe dei Minimi: analisi dei danni causati dal terremoto del 6 Aprile 2009 al patrimonio culturale*, 30 Giugno 2009.
- L. Sorrentino, E. Raglione, L.D. Decanini, D. Liberatore, *La chiesa di San Biagio all' Aquila*, tratto da: "Arkos", n°20, pp. 67-72, Luglio/Settembre, 2009.
- G. Stockel, *La città dell'Aquila: il centro storico tra il 1860 e il 1960*, Edizioni del Gallo Cedrone, L'Aquila, 1981.
- L. Zordan, *Tecniche costruttive dell'edilizia aquilana*, Carsa Edizioni, Pescara, 1992

SITOGRAFIA:

- <http://www.culturaebeni.it>
- <http://www.diocesi-laquila.it>
- <http://www.laquilanuova.org>
- <http://jargo.itc.cnr.it>
- <http://www.protezionecivile.it>
- <http://www.regione.abruzzo.it>
- <http://www.solistiaquilani.it>
- <http://www.vigilfuoco.it>



CAPITOLO 3

Tutela degli edifici in zona sismica.

a_ Riflessioni sul restauro conservativo.

L'approccio conservativo del restauro monumentale privilegia l'aspetto documentario del bene culturale e si propone la migliore conservazione dello stato attuale della materia antica. Ogni edificio, infatti, completo nelle sue forme, trasformato o adattato nel corso del tempo, anche se ridotto allo stato di rudere, possiede, iscritte nella sua materia, informazioni sul processo costruttivo dell'architettura e sulle stesse vicende che lo rendono del tutto partecipe alla storia.

Ogni nuova fabbrica costituisce un fatto unico in sé e, allo stesso tempo, una trasformazione dell'esistente. Ogni rifacimento, adattamento, trasformazione, riparazione, restauro, accumula sul già esistente tracce di storia e di cultura materiale specifica, le quali a distanza di tempo possono essere ripercorse e comprese solo se esse rimangono autentiche nel corpo del bene culturale, il più possibile integre nella loro consistenza materiale e conservate nella successione temporale del loro apparire, quali vere e proprie stratificazioni di natura, in un certo modo, archeologica.

L'intervento di conservazione è quindi, in primo luogo, tutela dell'autenticità materica del monumento; per questo ci si deve orientare piuttosto verso la manutenzione periodica e la prevenzione dei fenomeni degradanti che verso interventi di reintegrazione.

Per conseguire tali risultati è indispensabile l'approccio scientifico al restauro, ovvero è necessario predisporre un progetto di intervento che contenga le indicazioni circa i materiali da impiegare, le prescrizioni per le varie procedure tecniche di intervento e le raccomandazioni per il controllo della qualità e della durabilità degli esiti conservativi. Esse possono scaturire solo dalla consapevolezza dello stato di fatto dell'opera. Indispensabile sono quindi tutte quelle indagini diagnostiche e conoscitive che permettono di raggiungere la consapevolezza dello stato di fatto in cui versa l'opera oggetto dell'intervento.

E' proprio tale approfondimento conoscitivo delle "patologie" presenti nell'opera, realizzato attraverso le indagini meccaniche, fisiche, chimiche, biologiche condotte in loco e in laboratorio mediante l'ausilio di specialisti, che deve precedere e accompagnare ogni intervento conservativo a difesa del bene culturale. La conoscenza analitica deve estendersi a tutti gli aspetti fisici e costruttivi intervenuti nella vita del monumento affinché l'intervento non produca arbitrarie operazioni selettive nella materia dell'opera stessa.

Le modalità di restauro scaturiranno, di conseguenza, dalla diagnosi delle cause di degrado agenti nella struttura del costruito, mirando alla loro prevenzione e rimozione attraverso l'uso delle tecniche più appropriate.

Per questa ragione bisogna riferire gli interventi conservativi alla natura e all'entità delle cause di degrado in atto, limitarli nel numero e nella consistenza, graduarli secondo i criteri della tollerabilità meccanica tra nuove e vecchie strutture e della compatibilità fisico-chimica tra nuovi e vecchi materiali.

Bisognerà operare conservando il più possibile e tutelando l'edificio su cui si interviene, seppur gravemente danneggiato.

Riprendendo il concetto del valore del tempo e di conseguenza dell'importanza della conservazione, legate però alla sicurezza dell'utente, si vuole citare Riegl in due suoi documenti. Il primo si riferisce ad una relazione tecnica che Riegl presentò riferendosi ai restauri eseguiti fra il 1905 e il 1908 al campanile della basilica di Aquileia. In questa relazione, pubblicata nel 1904, egli evidenzia il fatto che andava garantita la sicurezza e la conservazione del campanile tramite la sostituzione delle pietre maggiormente danneggiate, la rimozione della vegetazione infestante, la sigillatura delle fughe, ecc... ma cosa ancora più importante, oltre alle indicazioni di natura tecnica, raccomandava che nei lavori venisse tenuta presente l'importanza del valore dell'antico, affinché rimanessero percepibili gli effetti del naturale degrado che si manifestano con la non uniformità delle superfici. Nel secondo documento, il libro "Il culto moderno dei monumenti" del 1903, egli afferma: "Nei confronti di un campanile antico dobbiamo distinguere fra i ricordi storici di diverso tipo più o meno locali, che l'aspetto del campanile rievoca in noi, e la concezione affatto non-locale e generale del tempo, tempo che il campanile ha "provato" e quale si dimostra nei suoi segni di antichità immediatamente percepibili" e infine " Con maggiore efficacia, però, il valore dell'antico si impone per l'effetto meno violento e ovviamente più ottico che tattile, della disgregazione della superficie (decomposizione, patina), e per l'effetto, inoltre, che procurano gli angoli e gli spigoli consumati o altre cose simili. Tutto ciò testimonia il lavoro di degrado operato dalla natura, degrado lento ma sicuro e ininterrotto, come un lavoro regolare e inarrestabile". Tutto questo per far comprendere come sia importante attuare un intervento di restauro volto il più possibile alla conservazione della matericità dell'opera per salvaguardarne e tutelarne i valori del tempo che essa porta iscritti.

Conservare è un'attività per sua natura legata a questioni non solo "culturali" ma anche economiche e speculative molto forti. Le antiche testimonianze sono da considerarsi ovviamente anche beni economici, vista l'importanza che sempre più rivestono nell'economia di una nazione, specie se ricca di storia. Bisogna quindi combinare i due aspetti del problema, senza sacrificare il dato di cultura né la resa economica. Per garantire ad ogni intervento una vera dignità scientifico-tecnica e professionale bisogna coniugare al più alto livello economia e cultura, ricordando sempre che il restauro architettonico è una branca del più generale restauro artistico, del quale però muta principi e metodi.

Di qui l'importanza fondamentale da parte degli "addetti ai lavori" di una continua ricerca di professionalità data dal costante aggiornamento sul campo, da un costante studio basato anche sul confronto continuo di esperienze; un dibattito continuo basato non solo sulla teoria ma anche sulla pratica. Teoria e pratica in costante dialettica tra di loro, dove la prima sarà base e guida per la seconda e dove, viceversa, la pratica diventerà talvolta confutazione della teoria.

Il restauro scientificamente e modernamente inteso è volto innanzitutto alla conoscenza, al fine di poter conservare le antiche testimonianze. Senza conoscenza non può esserci conservazione.

La giusta strada della conservazione passa per un sano equilibrio di tradizione e innovazione. Da qui una riflessione doverosa sulla questione dell'intervento reversibile, spesso inteso come una giustapposizione di elementi tecnici per garantire la staticità dell'opera (un esempio è la membratura di rinforzo statico a vista). Questo tipo di intervento è sì preferibile, ma nella consapevolezza che è spesso molto difficile da conseguire. Inoltre una problematicità che emerge è il cambiamento dell'immagine dell'opera, problema che Brandi affrontò per primo, intendendo il restauro architettonico come parte del restauro artistico, distinguendo tra intervento sul "supporto" e intervento sulla "superficie", elementi, per lui, da trattare

diversamente¹. Il problema, in architettura, è molto complesso in quanto l'opera architettonica non può che essere vista come un organismo, il cui mutamento, anche se solo di una parte, non potrà che dare origine al mutamento del tutto. Conservare solo la superficie, l'immagine, non garantisce mai il mantenimento di questa organicità. Dalla critica brandiana si sono sviluppate due linee di pensiero definiti "manutentivo-ripristinatoria" e "puro-conservativa". Visioni opposte che muovono e si sviluppano però dal medesimo interesse comune: il voler conservare anche se in modo diverso.

L'architettura non è solo opera d'arte, ma è opera dell'uomo per l'uomo, ha senso solo se vissuta. Ecco quindi cosa significa riuso. Ma per riusare a volte bisogna apportare delle modifiche all'opera originaria, nonché garantirne la sicurezza strutturale anche alla luce delle nuove normative sui Beni Culturali. In questo caso l'intervento da privilegiare è quello minimo. Anche Riegl ne *"il culto moderno dei monumenti"* (1903) scriveva: "Un edificio antico che ancora oggi viene utilizzato deve essere conservato in una condizione tale che possa alloggiare uomini senza metterne in pericolo la vita e la salute. Ogni lesione [...] deve essere sanata immediatamente" e inoltre "il tener conto del valore dell'incolumità fisica prevale alla fine, senza dubbio, su ogni possibile attenzione al bisogno ideale del valore dell'antico".

Oggi il compito è di sommare le nostre esperienze con quelle delle generazioni precedenti, senza disperderne gli utili apporti e senza creare artificiose contrapposizioni. Si tratta d'impegnarsi a fondo per attuare una seria volontà conservativa, e di struttura e di immagine; inoltre, come scrive Tilmann Breuer (1987), la stessa antitesi di "conservazione e restauro può essere considerata oggi come superata. Non certo perché la quantità di distruzioni ci costringe ad accantonarla, bensì perché adesso abbiamo semplicemente capito che anche nell'ambito materiale non è possibile avere dei risultati conservativi senza degli interventi di restauro". Parole che incoraggiano la strada "critico-conservativa", attenta in primo luogo ai problemi "conservativi", per la coscienza dell'attuale esteso concetto di documento, ma "critica" per l'apertura antidogmatica all'intera gamma di problemi che il restauro suscita, ivi compresi quelli di reintegrazione delle lacune e soprattutto di rimozione delle aggiunte².

b_ Storia della normativa antisismica e quadro normativo vigente per la tutela degli edifici storici in zona sismica.

La normativa antisismica trova le sue "radici" in epoca lontana, le prime testimonianze risalgono al 1627, quando un grave terremoto si abbatté sulla Campania e, l'allora re della regione, decise di emanare la prima legge che desse delle direttive su come sistemare la situazione d'emergenza creatasi e su quale metodo seguire per ricostruire ("sistema baraccato alla beneventana" basato su di una struttura intelaiata in legno, con ritti infissi in un basamento di muratura e con le specchiature dei telai chiuse con materiali leggeri cementate con malta e intonacate). Nel 1783, un nuovo devastante terremoto colpì il Messinese e la Calabria, anche in questo caso, in via di emergenza, fu emanata una legge dal re Ferdinando IV di Borbone che confermava il metodo del "baraccato" come buon metodo per costruire in modo anti-sismico.

¹ C. Di Biase (a cura di), *Il restauro e i monumenti, materiali per la storia del restauro*, Maggioli editore, Milano, 2008.

² Cfr G. Carbonara, *Trattato di Restauro Architettonico*, UTET, Torino, 2008.

E' doveroso sottolineare che le "radici" su cui si basa la normativa anti-sismica italiana nacquero tutte in condizioni di emergenza a seguito di gravi eventi sismici e che si svilupparono in modo non unitario perché, prima dell'unità d'Italia, ogni stato in cui essa era divisa aveva una sua legislazione indipendente.

Il 28 Dicembre del 1908, alle ore 4:20, un terremoto di XI grado si verifica a Reggio Calabria e Messina, a seguito del quale si contarono 80.000 morti e 600 miliardi di lire di danno (una cifra enorme soprattutto rapportata all'epoca). Anche in questo caso lo Stato Italiano decise di emanare delle leggi che operassero a favore della prevenzione rispetto al terremoto. Si era scelto di ridurre il rischio utilizzando un binomio: la normativa tecnica di edilizia antisismica e la classificazione sismica (ovvero la definizione del territorio nel quale devono essere applicate le norme).

Vennero quindi tradotte in legge le esperienze maturate in ambito scientifico e nella tecnica delle costruzioni. Si emanarono due Regi Decreti; quello del 18/04/1909 n. 193 contenente le norme tecniche obbligatorie per le riparazioni, ricostruzioni e nuove costruzioni degli edifici pubblici e privati e l'elenco dei Comuni sottoposti all'osservanza di dette norme; e quello del 15/07/1909 n. 542 che inserisce nuovi comuni negli elenchi.

Le norme tecniche del 1909 escludevano la possibilità di edificare su siti inadatti (paludosi, franosi, molto acclivi), consentivano di edificare nuove costruzioni solo con specifiche tecnologie (muratura animata, squadrata e listata, oppure con telai), imponevano il rispetto di dettagliate regole costruttive (cordoli, sbalzi, strutture non spingenti), limitavano l'altezza degli edifici ed il numero di piani (a seconda delle tecnologie). Prescrivevano inoltre di considerare forze statiche orizzontali e verticali proporzionali ai pesi (per tener conto degli effetti dell'azione sismica), ma la legge non dava indicazioni né determinava la percentuale di queste forze. Infine, i decreti definivano la larghezza minima delle strade e gli spazi tra gli edifici.

Il 15 ottobre del 1911 si verifica un terremoto in area etnea del X grado, seguito da un altro evento sismico del 13 Gennaio 1915 nella Marsica (XI grado). Ci furono oltre 30.000 morti. A seguito di una così grave catastrofe, lo stato decise nuovamente di intervenire, inserendo nuovi comuni nelle liste e aggiornando la normativa tecnica.

Tra il 1915 e il 1927 ben sette eventi sismici (tra l' VIII e il X grado) ebbero luogo.

L'Italia del primo dopoguerra emanò quindi il Decreto Legislativo 1526 del 1916, che quantificava le forze sismiche e la loro distribuzione lungo l'altezza dell'edificio, colmando quindi la precedente lacuna.

Nei calcoli dovevano considerarsi le azioni statiche, dovute al peso proprio ed al sovraccarico, aumentate del 50% in modo da simulare l'effetto delle vibrazioni sussultorie (incremento di forze verticali e le azioni dinamiche dovute al moto sismico ondulatorio, simulate con accelerazioni applicate orizzontalmente alle masse del fabbricato nelle due direzioni (forze orizzontali).

Il Regio decreto n.2089 del 1924 stabilisce che le forze sismiche orizzontali e verticali non agiscono contemporaneamente ed impone la progettazione da parte di un ingegnere o architetto.

Il Regio Decreto n.431 del 1927 introdusse due categorie sismiche (la I° e la II°) a differente pericolosità. In questo decreto per quanto riguarda la classificazione ci fu un cospicuo inserimento dei comuni interessati dai recenti sismi nelle liste, differenziandoli nelle due categorie in relazione al loro grado di sismicità ed alla loro costituzione geologica. Per quanto riguarda invece la normativa tecnica furono inserite prescrizioni differenziate per ciascuna categoria sismica e conseguente applicazione di diverse forze

sismiche nelle due categorie (la I° e la II°). In particolare le prescrizioni differenziate contenute in questo decreto riguardavano le altezze massime degli edifici (in II categoria era ammesso realizzare fino a tre piani, mentre in I categoria si poteva giungere fino a due piani solo per strutture intelaiate o con muratura animata), le azioni di progetto (nuove percentuali di proporzionalità e di distribuzione lungo l'altezza), le regole di dimensionamento delle membrature.

Tra il 1927 e il 1930 si verificarono altri tre eventi tellurici: ai Colli Albani, in Friuli, nel Bolognese.

Tra il 1930 e il 1935 altri terremoti in Irpinia, nelle Marche Settentrionali, a Monte Baldo nella Maiella.

Ancora una volta, a seguito di questi eventi, si emanò un altro Regio Decreto, il n. 640 del 1935, nel quale ci fu un deciso passo avanti con l'emanazione di specifiche direttive tecniche e con l'obbligo per i Comuni di approntare propri regolamenti edilizi. Alcune di tali direttive riguardavano:

- La limitazione delle altezze degli edifici in funzione della larghezza delle strade;
- L'innalzamento delle altezze massime permesse in funzione delle tecnologie costruttive;
- Il dimensionamento delle strutture in cemento armato;
- La variazione dell'entità delle forze sismiche globali (coefficiente di riduzione dei sovraccarichi).

Nel 1937 viene emanato il Regio Decreto n. 2125 del 22/11/1937, con il quale vennero definite le norme del buon costruire anche per i Comuni non classificati. Le norme nei Comuni classificati non si discostano sostanzialmente da quelle del 1935.

Tra il 1937 e il 1948 si verificano eventi con intensità maggiore o uguale a VIII (MCS): nel Golfo di Palermo, nelle Marche meridionali e Abruzzo e nella Calabria Centrale.

Questi eventi portarono all'inclusione nelle liste dei Comuni di Ascoli Piceno e Teramo, ma si procede contemporaneamente alla declassificazione di alcune zone:

- "La richiesta si basa sulla considerazione che i danni prodotti in quella zona dal terremoto del 1915 furono minimi ed imputabili, più che altro, alla cattiva costruzione delle case, e che, d'altra parte, l'assoggettamento a tali norme costituisce un notevole intralcio allo sviluppo di quella zona eminentemente turistica..."(dai decreti del Comune di Terminillo, 1938).
- "...e che, d'altra parte, l'assoggettamento delle norme del decreto citato costituisce un notevole intralcio allo sviluppo edilizio di quella zona, di cui vari centri sono importanti stazioni balneari" (dai decreti della Provincia di Pesaro Urbino, 1941).
- "... e che d'altra parte l'assoggettamento a tali norme sismiche costituisce un notevole intralcio alla costruzione di nuovi fabbricati e anche alla ricostruzione di quelli distrutti dalla guerra in un momento in cui maggiormente è sentito il bisogno di nuovi alloggi..."(dai decreti del Comune di Vittorio Veneto, 1947).

Nel 1948 nasce la Repubblica Italiana e tra questo anno e il 1962 ci furono tre sismi con intensità maggiore o uguale a VIII (MCS): nella Carnia, nella Valle del Velino e in Irpinia.

La nuova legge n.1684 del 1962 decreta:

- La possibilità di ridurre le azioni sismiche in condizioni geologiche favorevoli (previa relazione geologica e dispensa ministeriale);
- Nuovi limiti per le altezze massime ed il numero di piani (in funzione della categoria sismica);
- L'obbligo di introdurre nei piani regolatori comunali le norme del buon costruire;
- Ridefinizione dei coefficienti di proporzionalità e di distribuzione delle forze sismiche e nuovi coefficienti di riduzione dei sovraccarichi;
- Vengono consentite le strutture in muratura, cemento armato, acciaio e legno e vietate le strutture spingenti.

Tra il 1962 e il 1975 altri tre moti tellurici consistenti si verificarono: a Monti Nebrodi, nella Valle del Belice e a Tuscania.

Negli anni '70 avviene il decentramento amministrativo alle Regioni, anche per le competenze in materia urbanistica. La legge n.64 del 2/2/1974 stabilisce il nuovo quadro di riferimento per la normativa tecnica ed in particolare quella sismica:

- Per seguire meglio il progredire delle conoscenze si demanda a decreti ministeriali dei Lavori Pubblici l'aggiornamento della normativa tecnica;
- Si stabiliscono esattamente i campi in cui tali decreti dovranno essere emanati (edifici, ponti, dighe...);
- Anche per la classificazione viene stabilita una procedura analoga.

La classificazione sismica del territorio italiano doveva procedere sulla base di comprovate motivazioni tecnico scientifiche.

Nel decreto ministeriale del 1975 vengono emanate norme riguardanti:

- Nuovi criteri geotecnici per le opere di fondazione (in riferimento alla circolare Min. LL.PP. 3797 del 1967);
- Nuovi limiti per le altezze massime ed il numero di piani (per edifici in muratura, a pannelli portanti od in legno), altezza illimitata per le costruzioni in cemento armato o acciaio;
- Possibilità di eseguire l'analisi sismica statica o dinamica con nuovi coefficienti di proporzionalità e di distribuzione delle forze sismiche e nuovi coefficienti di riduzione dei sovraccarichi;
- Progetti e calcoli devono essere firmati da professionisti a seconda delle proprie competenze;
- Concomitante emanazione delle norme per il cemento armato (normale e precompresso) e per l'acciaio.

Tra il 1976 e il 1984 ben sei eventi sismici di intensità tra l' VIII e il X (MCS) avvengono in Friuli (due volte), nella Calabria meridionale, nel Golfo di Patti, in Valnerina e in Irpinia Basilicata.

Con il decreto ministeriale del 3/6/1981 n. 515 viene introdotta la zona sismica di terza categoria, di minor sismicità rispetto alle altre e per essa vengono fissati i corrispondenti limiti e coefficienti in accordo con la legge del 1975.

Alla fine degli anni '70 si avvertì la necessità di razionalizzare la zonazione sismica del territorio nazionale. Questa avvenne grazie al progetto Finalizzato Geodinamica del CNR nel 1979, che realizzò le carte di scuotibilità del territorio italiano sulle quali, per quantificare il livello di esposizione del paese al terremoto, venivano valutati tre parametri:

- La massima intensità macrosismica per ciascun sito
- L'intensità osservata all'interno di un periodo di tempo
- Il valore del coefficiente C utilizzato nella normativa sismica per la verifica progettuale delle costruzioni.

Fu quindi istituita presso il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici la Commissione per la riclassificazione Sismica. Per poter trasferire i risultati delle carte di scuotibilità in una proposta di riclassificazione del territorio, la commissione definì un metodo di scelta dei valori di soglia da assegnare a ciascuno dei tre parametri descritti in precedenza (che portasse a risultati in qualche modo rapportabili con la distribuzione della classificazione già in vigore), e di iscrivere negli elenchi di classificazione tutti quei comuni che superano la soglia prefissata perlomeno per uno dei tre parametri.

Utilizzando questi criteri, validi per tutto il territorio nazionale, il Ministero dei LL.PP. tra il 1979 e il 1984 ha emanato una serie di decreti (di concerto con il Ministero per l'Interno, sentite le Regioni interessate) con i quali sono stati ridefiniti i limiti della classificazione sismica ancora oggi in vigore.

In epoca odierna vige il D.M. 16/01/96, che introdusse alcune modifiche rispetto alle precedenti norme sismiche. Non si fa più riferimento al numero di piani di un edificio ma alla sua altezza massima. Anche nelle zone sismiche è possibile adottare il metodo di verifica agli stati limite oltre quello delle tensioni ammissibili. Inoltre vengono limitati i danneggiamenti alle parti non strutturali ed agli impianti, attraverso il controllo degli spostamenti. Inoltre la circolare n.657 AA. GG. del 10/04/1997, non cogente, richiama in vari punti le specifiche riportate nell'Eurocodice EC8.

Inoltre la Commissione Nazionale di Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi ha dato mandato nel 1997 al Servizio Sismico Nazionale di costruire un gruppo di lavoro (G.d.L.) per la formulazione di una proposta di riclassificazione sismica del Territorio Italiano. Il G.d.L., recependo lo stato dell'arte delle conoscenze sulla pericolosità sismica, nel 1998 è arrivato alla formulazione di una ipotesi di riclassificazione.

Per concludere è necessario sottolineare che il patrimonio edilizio non protetto è imponente, infatti la classificazione interessa il 45% del territorio nazionale e solo il 14% delle abitazioni è protetto. Prendendo in considerazione solo le zone attualmente classificate, ben il 60% delle abitazioni non è stato realizzato tenendo conto delle norme tecniche per le costruzioni in zona sismica.

Una parte notevole di questo patrimonio a rischio è proprio quella di maggiore interesse storico ed ambientale e ad essa si rivolge in misura crescente il recupero edilizio, il cui fatturato ha ormai superato quello delle nuove costruzioni.

Il 20 marzo 2003 viene emanata l'Ordinanza n. 3274 del Presidente del Consiglio dei Ministri nella quale si risponde alla necessità di predisporre norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche (in particolar modo per gli interventi sulla riduzione del rischio sismico nei centri storici), vengono infatti approvate e allegare le norme e inoltre viene prescritta la necessità di adeguamento sismico degli edifici e delle opere di interesse strategico e delle opere infrastrutturali la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile, nonché degli edifici e delle opere infrastrutturali che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso. Viene inoltre dato il compito alla Protezione Civile di fare un piano per la verifica di tali edifici e infrastrutture.

Il 21 ottobre del 2003 viene emanato il decreto del Capo dipartimento della Protezione Civile, in cui vengono date disposizioni attuative relative all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274. Nel decreto vi è l'elenco degli edifici e delle opere infrastrutturali da considerarsi d'interesse strategico, inoltre si stabilisce come la protezione civile effettuerà le verifiche (in particolar modo la raccolta della documentazione e dei dati, a vari livelli di approfondimento a seconda dell'edificio).

Il 3 maggio 2005 un'altra ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (n.3431) apporta ulteriori modifiche ed integrazioni all'Ordinanza n.3274, in quanto le attività di sperimentazione e prima applicazione delle precedenti normative hanno fatto emergere l'utilità di apportare ulteriori modifiche ed integrazioni di natura prettamente tecnica.

All'interno del Decreto Legislativo del 22 gennaio 2004, n.24 denominato "Codice dei Beni culturali e del paesaggio" si trovano due articoli di fondamentale importanza riguardanti la conservazione (definizioni) e gli obblighi conservativi;

- Articolo 29_Conservazione:
 - 1. La conservazione del patrimonio culturale è assicurata mediante una coerente, coordinata e programmata attività di studio, prevenzione, manutenzione e restauro.
 - 2. Per prevenzione si intende il complesso delle attività idonee a limitare le situazioni di rischio connesse al bene culturale nel suo contesto.
 - 3. Per manutenzione si intende il complesso delle attività e degli interventi destinati al controllo delle condizioni del bene culturale e al mantenimento dell'integrità, dell'efficienza funzionale e dell'identità del bene e delle sue parti.
 - 4. Per restauro si intende l'intervento diretto sul bene attraverso un complesso di operazioni finalizzate all'integrità materiale ed al recupero del bene medesimo, alla protezione ed alla trasmissione dei suoi valori culturali. Nel caso di beni immobili situati nelle zone dichiarate a rischio sismico in base alla normativa vigente, il restauro comprende l'intervento di miglioramento strutturale.
 - 5. Il Ministero definisce, anche con il concorso delle regioni e con la collaborazione delle università e degli istituti di ricerca competenti, linee di indirizzo, norme tecniche, criteri e modelli di intervento in materia di conservazione dei beni culturali. [...]
- Articolo 30_Obblighi conservativi:

- 1. Lo Stato, le regioni, gli altri enti pubblici territoriali nonché ogni altro ente ed istituto pubblico hanno l'obbligo di garantire la sicurezza e la conservazione dei beni culturali di loro appartenenza.
- 2. I soggetti indicati al comma 1 e le persone giuridiche private senza fine di lucro, ivi compresi gli enti ecclesiastici civilmente riconosciuti, fissano i beni culturali di loro appartenenza, ad eccezione degli archivi correnti, nel luogo di loro destinazione nel modo indicato dal soprintendente. (comma modificato nel D.Lgs. 26 marzo 2008, n.62)
- 3. I privati proprietari, possessori o detentori di beni culturali sono tenuti a garantire la conservazione.
- 4. I soggetti indicati al comma 1 hanno l'obbligo di conservare i propri archivi nella loro organicità e di ordinarli. I soggetti medesimi hanno altresì l'obbligo di inventariare i propri archivi storici, costituiti dai documenti relativi agli affari esauriti da oltre quaranta anni ed istituiti in sezioni separate. Agli stessi obblighi sono assoggettati i proprietari, possessori o detentori, a qualsiasi titolo, di archivi privati per i quali sia intervenuta la dichiarazione di cui all'articolo 13. Copia degli inventari e dei relativi aggiornamenti è inviata alla soprintendenza, nonché al Ministero dell'interno per gli accertamenti di cui all'articolo 125. (comma integrato dal D. Lgs. 24 marzo 2006, n.156).

La Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 12 ottobre 2007 è il testo fondamentale che raccoglie in importantissimi capitoli tutte le indicazioni utili a chi opera per poter effettuare gli interventi:

- Cap.2: requisiti di sicurezza e conservazione (indica gli strumenti per valutare la sicurezza, i criteri, definisce gli stati limite, come effettuare la modellazione strutturale).
- Cap.3: Azione sismica (divide in categorie i terreni di fondazione, definisce l'accelerazione orizzontale massima di riferimento, gli spettri di risposta e gli effetti del sito).
- Cap.4: Conoscenza del manufatto (indica tutto il percorso da effettuarsi per giungere ad una conoscenza ottimale del manufatto sul quale si dovrà operare).
- Cap.5: Modelli per la valutazione della sicurezza sismica (definisce i metodi di analisi sismica, come valutare i meccanismi di collasso, descrive i modelli di valutazione per tipologie edilizie, ecc..).
- Cap.6: Criteri per il miglioramento sismico e tecniche di intervento (definisce strategie per la scelta dell'intervento di miglioramento, descrive l'influenza degli interventi di adeguamento impiantistico, da indicazioni tecniche e pratiche per l'intervento a seconda della localizzazione degli stessi, infine definisce e divide le operazioni progettuali in progetto preliminare, definitivo ed esecutivo).
- Cap.7: Quadro riassuntivo del percorso di valutazione della sicurezza sismica e progetto degli interventi di miglioramento sismico (una guida fondamentale che spiega, in schede, i meccanismi di collasso più frequenti divisi per tipologie edilizie e soprattutto i possibili interventi per il miglioramento sismico riferiti agli elementi tecnici e al meccanismo che hanno subito).

La circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 contiene le istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale del 14 gennaio 2008.

Come si può evincere dalla storia più antica della normativa antisismica a quella più moderna non esiste un quadro organico di riferimento sugli interventi di tutela riferiti esplicitamente all'ambito sismico. Inoltre, si tende ad emanare leggi e circolari in casi di emergenza (subito dopo eventi sismici di particolare importanza), di conseguenza le istanze di conservazione non vengono sempre contemplate anche perché spesso si demanda al ministero dei lavori pubblici o alla protezione civile interventi anche nell'ambito dei beni culturali.

c_Rischio sismico e tutela degli edifici storici

Dalle indicazioni fornite da circolari e linee guida, esaminate insieme alle principali normative in merito alla tutela del patrimonio storico-architettonico, emerge una chiara linea metodologica che tende a privilegiare la conservazione degli aspetti materici che costituiscono la fabbrica architettonica. Gli attuali strumenti urbanistici (in particolare i piani di governo del territorio) si limitano a definire la perimetrazione delle zone storiche da tutelare, ma non prevedono particolari indicazioni specifiche per i progetti e gli interventi conservativi. Non mancano però esperienze di approfondimento legate alla definizione delle caratteristiche dei centri tutelati. Ne sono un esempio i manuali del recupero (come quelli elaborati per Città di Castello, Roma o Palermo): strumenti di codifica degli elementi caratteristici dell'architettura storica locale. Questi manuali hanno il merito di approfondire ad un livello estremamente dettagliato le tecniche costruttive impiegate in diversi ambiti, ma le incognite presenti in un complesso edilizio storico non sono sempre di facile interpretazione: in particolare la complessità delle soluzioni adottate per le costruzioni varia da periodo a periodo, e il loro stato di conservazione richiede l'applicazione di tecniche d'indagine non sempre di facile interpretazione.

La rilevanza dell'approfondimento conoscitivo dello stato di conservazione degli edifici antichi torna di attualità dopo il verificarsi di eventi catastrofici: in Italia non mancano casi illustri. I crolli illustri, come il campanile di San Marco a Venezia, la Torre civica di Pavia o la Cattedrale di Noto (senza dimenticare i recenti crolli che hanno interessato le rovine di Pompei), e quelli successivi ad eventi sismici, come la basilica superiore di San Francesco ad Assisi (fig. 3.1) o il centro storico di Onna (fig. 3.2), indicano che il patrimonio storico è soggetto a delle forme di vulnerabilità che possono compromettere l'integrità dell'intera fabbrica architettonica.



Figura 3.1 – Il crollo della volta nella Basilica superiore di Assisi avvenuto il 26 settembre 1997



Figura 3.2 – Edifici crollati nel centro storico di Onna.

Le immagini 3.1 e 3.2 mostrano come le sollecitazioni prodotte dai terremoti possano compromettere indistintamente edifici monumentali sottoposti a controlli e tutele particolarmente approfondite ed edifici

appartenenti al cosiddetto costruito diffuso. Va però notato che accanto a questi esempi di edifici compromessi dall'evento sismico si trovano anche esempi di architetture ancora integre dopo un tale evento. Proprio su di queste si è concentrata l'attenzione di studiosi come Antonino Giuffrè³ che attraverso i suoi scritti ha messo in luce come anche le tecniche costruttive tradizionali fossero in grado di fornire gli ausili necessari alla sicurezza strutturale degli edifici storici. Giuffrè⁴ recupera quel codice di regole dette "del buon costruire" che attraverso l'applicazione della "regola d'arte" era in grado di garantire efficienza alle strutture sotto le peggiori sollecitazioni esterne. Oggi l'attenzione riservata da certe normative alla vulnerabilità degli edifici si basa proprio sul riconoscimento di questi principi legati alla costruzione secondo la "regola d'arte".

Il caso del terremoto de L'Aquila rievoca una serie di problematiche che regolarmente si presentano nell'ambito della tutela degli edifici storici. Come nel caso della Basilica Superiore di Assisi, è necessario ponderare le ragioni del crollo, identificare eventuali labilità nel sistema costruttivo, garantire la messa in sicurezza delle strutture superstiti, elaborare una strategia d'intervento. Dal punto di vista degli interventi, abbiamo a disposizione un ampio palinsesto, sia in ambito sismico che non: dall'edificio monumentale crollato e mai più ricostruito (accettazione della perdita del bene culturale), come nel caso della Torre civica di Pavia a quello fortemente danneggiato e ricostruito, come nel caso della Cattedrale di Noto.



Figura 3.3 – La Torre Civica di Pavia.



Figura 3.4 – Il crollo della Torre Civica di Pavia.

Quando, il 13 marzo 1996, a poco più di cinque anni dal terremoto che nel dicembre del 1990 aveva colpito la Sicilia sud-orientale, un rovinoso crollo devastò la cattedrale di Noto, venne compiuta la scelta di conservare le parti superstiti della Cattedrale e di reintegrare le parti scomparse nel crollo. La questione sollevò numerosi dibattiti, e la linea che prevalse da parte dei progettisti fu quella di una ricostruzione che privilegiasse l'aspetto della compatibilità tra materiali e strutture a discapito di una contrapposizione tra tecniche costruttive antiche e moderne. In questo caso l'intervento venne concepito come recupero dei materiali ancora in opera; studio delle caratteristiche delle diverse strutture e dei materiali componenti; verifica dell'efficienza delle strutture portanti ancora in opera. L'intervento si delineò proprio sulla base delle indicazioni ottenute dalla fase di approfondimento conoscitivo delle strutture danneggiate dal crollo.

³ A. Giuffrè, *Lettura sulla meccanica delle murature storiche*, edizioni Kappa, Roma, 1998.

⁴ A. Giuffrè, *Lettura sulla meccanica delle murature storiche*, edizioni Kappa, Roma, 1998.

Va rilevato come il progetto di ricostruzione prevedesse la salvaguardia di tutta la muratura del lato superstite al crollo della navata centrale (figg. 3.5 e 3.6), previo opportuno consolidamento.

La progettazione dell'intervento sulle parti superstiti al crollo venne basata sullo studio delle caratteristiche di queste strutture mediante un'estesa campagna diagnostica: l'obiettivo era quello di verificare il rispetto della "regola d'arte" per identificare le aree che presentavano particolari labilità e i nodi strutturali più importanti per la sicurezza statica dell'edificio. La figura 3.7 mette in risalto alcuni presidi inseriti nella struttura muraria per favorire il l'ammorsamento tra i diversi paramenti. La figura 3.8 illustra il sistema di connessione tra arco-timpano e muratura verticale e il sistema del contrafforte laterale per il contenimento delle spinte.



Figura 3.5 – La cattedrale di Noto dopo il crollo.



Figura 3.6 – Veduta del crollo all'interno della cattedrale.

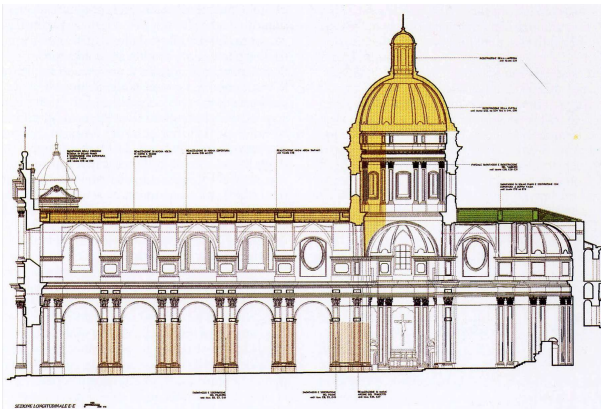


Figura 3.7 – Intervento progettuale per la ricostruzione della cattedrale di Noto. Da R. De Benedictis e S. Tringali "La ricostruzione della Cattedrale di Noto", LCT Edizioni.

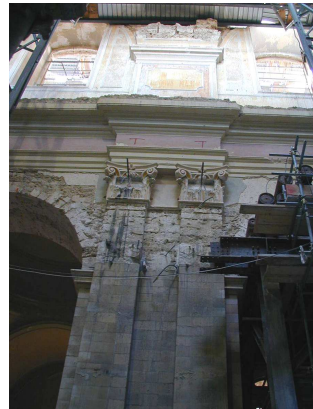


Figura 3.8 – Vedute dei pilastri ricostruiti e dell'innesto con la muratura sovrastante originale (cortesia di Lorenzo Cantini).

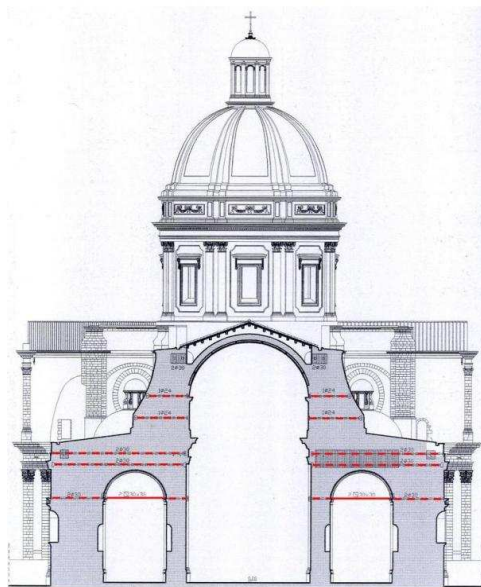


Figura 3.9 – Intervento progettuale per la ricostruzione della cattedrale di Noto. Ubicazione delle catene. Da R. De Benedictis e S. Tringali “La ricostruzione della Cattedrale di Noto”, *LCT Edizioni*.

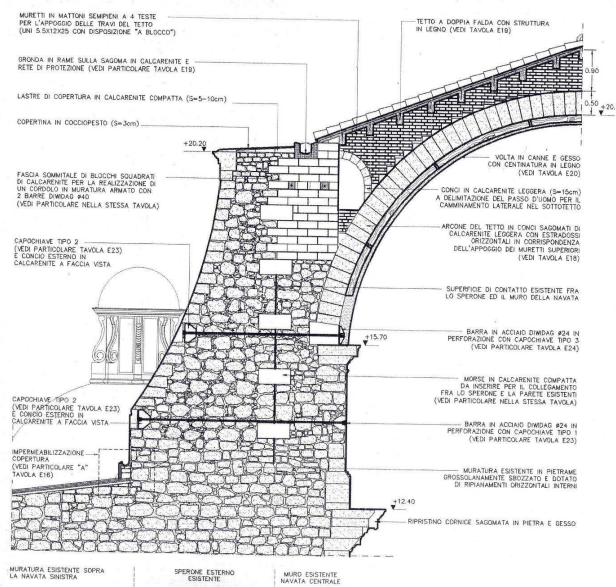


Figura 3.10 – Intervento progettuale per la ricostruzione della cattedrale di Noto. Dettaglio del nodo tra architrampino e muratura. Da R. De Benedictis e S. Tringali “La ricostruzione della Cattedrale di Noto”, *LCT Edizioni*.

Il tema della ricostruzione è tornato di attualità dopo la devastazione del centro de L'Aquila. Senza entrare nel merito delle scelte che verranno fatte in questa occasione (ricostruzione in chiave contemporanea degli edifici distrutti; integrazione stilistica delle porzioni danneggiate; parco archeologico; ecc.), è interessante notare come la complessità della tutela di un edificio in zona sismica o comunque di un edificio colpito seriamente da un evento distruttivo non possa essere affrontata dal punto di vista delle odierne norme legate alla tutela degli edifici storici. In particolare si nota come dopo l’emanazione delle linee guida da parte della protezione civile e del ministero per i lavori pubblici e le infrastrutture, siano seguite le indicazioni da parte del ministero dei beni culturali. Si tratta di prescrizioni che non risolvono il problema, ma tendono a privilegiare uno studio dello stato di fatto per pervenire alle soluzioni progettuali finali. Questo sarà proprio il caso della Chiesa di San Biagio e dell’Oratorio di S. Giuseppe nel centro storico dell’Aquila. Architetture danneggiate dall’evento sismico, ma non totalmente compromesse, sulle quali verrà elaborato un progetto d’intervento ispirato dall’approfondito studio di tutte le loro componenti strutturali.

BIBLIOGRAFIA:

- F. Augelli, *La diagnosi delle opere e delle strutture lignee. Le ispezioni*, Il prato, Firenze, 2006.
- AA.VV., *La Frauenkirche di Dresda*, Schoningh Verlag, Dresda, 2005.
- G. Baronio, L. Binda, C. Tedeschi, C. Tiraboschi, *Indagini Caratterizzazione dei materiali della Cattedrale di Noto*, tratto da: Cattedrale di Noto Dresda die Frauenkirche-Workshop, Milano, 10-12 febbraio 2000.
- A. Bellini, *Tecniche della conservazione*, Franco Angeli, Milano, 2007.
- L. Binda, G. Baronio, C. Gavarini, R. De Benedictis, S. Tringali, *Investigation on materials and structures for the reconstruction of the partially collapsed Cathedral of Noto (Sicily)*, tratto da: "Structural studies, repairs and maintenance of historical buildings VI", C.A. Brebbia & W. Jager Editors.
- L. Binda, G. Baronio, C. Tiraboschi, *Indagini in situ su materiali e strutture della cattedrale di noto*, Seminario internazionale su: Cattedrale di Noto e Frauenkirche di Dresda: indagini per il progetto di ricostruzione, Noto, n°4, 2000.
- L. Binda, G. Baronio, C. Tiraboschi, *Indagini in situ sui materiali e sulle strutture della cattedrale di Noto*, tratto da: Cattedrale di Noto Dresda die Frauenkirche-Workshop, Milano, 10-12 febbraio 2000.
- L. Binda, G. Baronio, C. Tiraboschi, C. Tedeschi, *Indagini sperimentali per la scelta dei nuovi materiali per la ricostruzione della Cattedrale di Noto*, tratto da: Cattedrale di Noto Dresda die Frauenkirche-Workshop, Milano, 10-12 febbraio 2000.
- L. Binda, A. Saisi, C. Tiraboschi, S. Valle, C. Colla, *Indagini soniche e radar sui pilastri e sulle murature della cattedrale di noto*, Seminario internazionale su: Cattedrale di Noto e Frauenkirche di Dresda: indagini per il progetto di ricostruzione, Noto, n°5, 2000.
- G. Carbonara, *Trattato di restauro architettonico vol. I*, UTET, Torino, 2008.
- G. Carbonara, *Trattato di restauro architettonico vol. III*, UTET, Torino, 2008.
- R. De Benedictis, S. Tringali, *La ricostruzione della Cattedrale di Noto*, L.C.T. Edizioni, Noto, febbraio 2000.
- C. Di Biase (a cura di), *Il restauro e i monumenti, materiali per la storia del restauro*, Maggioli editore, Milano, 2008.
- M. Sandstein Verlag, *The Frauen- Kirche in Dreden*, Edited by the Dreden Frauenkirche Foundation, Dresda, 30 Ottobre 2005.
- S. Tringali, R. de Benedictis, R. La Rosa, C. Russo, A. Bramante, C. Gavarini, G. Valente, V. Ceradini, C. Tocci, S. Tobriner, M. Maugeri, L. Binda, G. Baronio, *La ricostruzione della cattedrale di Noto*, tratto da: "ARCo", Manutenzione e recupero nella città storica, conservazione e sicurezza, Fratelli Palombi editori, Roma, 1999.

RIFERIMENTI NORMATIVI:

- Ordinanza del Presidente del consiglio dei ministri 20 marzo 2003, n. 3274, "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", pubblicata nel supplemento ordinario n. 72 alla Gazzetta ufficiale n. 105 del 8 maggio 2003.
- Decreto del Capo dipartimento della protezione civile 21 ottobre 2003, "Disposizioni attuative dell'art. 2, commi 2, 3 e 4, dell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003", pubblicata nella Gazzetta ufficiale n. 252 del 29 ottobre 2003.
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 3 maggio 2005, n. 3431 "Ulteriori modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003", pubblicata nel supplemento ordinario n. 85 alla Gazzetta ufficiale n. 107 del 10 maggio 2005.
- Decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42 e s.m.i. "Codice dei beni culturali e del paesaggio"; in particolare art. 29) Conservazione e art. 30) Obblighi conservativi.
- Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 12 ottobre 2007 "Direttiva per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale", pubblicata nel supplemento ordinario n. 25 alla Gazzetta ufficiale n. 24 del 29 gennaio 2008.
- Decreto Ministero delle infrastrutture 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni", pubblicato nel supplemento ordinario n. 30 alla Gazzetta ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008; in particolare cap. 8) Edifici esistenti.



CAPITOLO 4

Approccio metodologico al caso dell'Aquila.

a_ Conservazione come attività di conoscenza

A partire dagli anni '70 nel nostro paese si osserva un interesse sempre più crescente nei riguardi del nostro patrimonio storico artistico, nello specifico si presta un'attenzione particolare verso le dinamiche di deterioramento dei materiali che compongono l'opera architettonica.

Sempre più ampi strati sociali, culturali ed intellettuali avvertono la consapevolezza che ogni "manufatto" del passato concentra su di sé molteplici valori da salvaguardare, che ciò che è perduto non è più riproducibile e che quindi bisogna operare il massimo sforzo possibile per garantire una vita più lunga possibile al nostro patrimonio edilizio storico. Questa forma di tutela ha un chiaro modello applicativo nella conservazione integrata¹.

Questa nuova teoria nasce in contrasto con le teorie sul Restauro sviluppate nel corso del XIX secolo ma ancora fortemente seguite dai restauratori. Questi, mediante un "giudizio critico" di ciò che si presumeva avere rilevanza storico-artistica, valutazione non oggettiva ma di mero apprezzamento di particolari qualità storiche ed estetico-formali, operavano apportando svariate alterazioni, creando un continuo conflitto tra la volontà di salvaguardare l'istanza storica e quella di tutelare invece l'istanza estetica. Come conseguenza di questo dibattito, quando sul manufatto si ha del degrado, è possibile mediante la riproduzione formale sostituire la porzione deteriorata al fine di salvaguardare l'aspetto estetico (valutazione comunque non oggettiva da parte del progettista) pur annullando l'autenticità materica².

La conservazione si oppone alla sostituzione indicando come impossibile la riproduzione, catalogando questa pratica come operazione distruttiva in quanto cancella veri e propri documenti materiali, impedendone quindi la fruizione alle generazioni future.

Per quanto virtuosa, la teoria della conservazione riconosce comunque i propri limiti applicativi: la durabilità dei materiali è una questione inevitabile, e gli stessi processi di degrado, nonché le esigenze di fruibilità dell'opera, manutenibilità, sicurezza e adeguamento tecnologico sono aspetti che mettono a dura prova la volontà di mantenere inalterata l'integrità della materia originale³.

Proprio all'interno di questi aspetti si inserisce il restauro visto come "progetto del nuovo", progetto di aggiunte e non di sottrazioni sul preesistente la cui tutela deve essere assunta come dato progettuale di partenza al fine di garantirne la permanenza.

¹ Formalizzato per la prima volta nel 1975 con la Carta della Conservazione Integrata (Amsterdam) in cui si riconosce il valore di patrimonio culturale non solo alle architetture monumentali ma anche gli insiemi di edifici che costituiscono le nostre città e i nostri villaggi tradizionali nel loro ambiente naturale o costruito. In questo documento si mette per iscritto la presa di coscienza del pericolo cui sono soggetti questi manufatti e si promuove la "conservazione integrata" per la loro difesa mediante mezzi giuridici, mezzi amministrativi, mezzi finanziari e mezzi tecnici.

² F. Augelli, *La diagnosi delle opere e delle strutture lignee. Le ispezioni*, Il Prato, Firenze, 2006, pag 9.

³ A. Bellini, *La pura contemplazione non appartiene all'architettura*, tratto da: "TeMa", n°2, 1998.

Un corretto intervento di conservazione non può quindi essere scisso da un adeguato approccio diagnostico-conoscitivo dell'esistente al fine di determinare le corrette procedure per assicurare un adeguato intervento progettuale che non pregiudichi l'integrità dell'opera architettonica.

La metodologia di indagine proposta in questa tesi si basa sul principio che la conoscenza è il presupposto fondamentale per la scelta di tecniche e materiali finalizzati alla conservazione e alla prevenzione dei danni al patrimonio architettonico esistente. Il metodo, adottato prima sui singoli monumenti (campanili, chiese, ecc.), è stato calibrato in differenti indagini in sito sulla muratura storica in Umbria dopo il terremoto del 1997 e in Liguria nell'ambito di ricerche sperimentali avviate dal GNDT⁴ che hanno coinvolto anche il Dipartimento di Ingegneria Strutturale del Politecnico di Milano. Il terremoto che ha colpito l'Umbria e le Marche nel '97 ha fornito la possibilità di studiare i danni subiti da numerose tipologie architettoniche, di epoche differenti e caratterizzate da svariate stratificazioni. Come più volte sottolineato da Antonino Giuffrè⁵, si è potuto notare che la mancanza di una conoscenza sul comportamento dei materiali e delle strutture degli edifici esistenti è stata, e rimane, la principale causa di scelte di tecniche di intervento non appropriate per conferire resistenza e durabilità alle architetture storiche.

b_ Rilievo dei danni provocati dal terremoto: schede GNDT e Linee Guida fornite dal Ministero per i Beni e le Attività Culturali

b.1_ Vulnerabilità sismica e prevenzione del rischio: attività di ricerca e quadro normativo

Quando si parla di strutture monumentali, nonostante la varietà tipologica delle costruzioni sia molto ampia, non si può prescindere dall'attribuire alle chiese un ruolo particolare. Soprattutto in Italia, l'elevato numero di edifici sacri ha favorito la diffusione di numerosi studi su queste strutture monumentali. L'interpretazione del loro comportamento statico è stata infatti favorita da una semplificazione del modello strutturale che sta alla base delle principali tipologie diffuse sul territorio: ogni ambito geografico in determinate epoche storiche ha infatti espresso delle realtà tipologiche diverse, distinguibili dalla presenza di una serie di strutture peculiari. Dalla valutazione della connessione di elementi bidimensionali (come murature, pilastri, archi) e tridimensionali (volte e cupole) è possibile stimare il comportamento meccanico di questi edifici monumentali in modo da definire le più appropriate politiche di prevenzione⁶.

Per poter conservare tali "testimonianze" è necessaria un'attenta analisi che punti anche alle cause che portano al declino del costruito, in primo luogo con riferimento agli eventi più negativi per essi: i terremoti. Infatti l'esperienza mostra come sia questa la causa più probabile del decadimento di tali costruzioni. Anche sismi di limitata intensità determinando stati fessurativi evidenti e possono provocare, in alcuni elementi architettonici della chiesa, situazioni d'instabilità con crolli locali. Questo soprattutto per una propria *vulnerabilità intrinseca*, dovuta alle caratteristiche della muratura, al sistema strutturale generalmente basato su grandi aule senza muri di spina, le cui pareti sono tra di loro rese solidali tramite il sistema delle volte e quello di copertura, oppure tramite l'ammorsamento delle pareti, che spesso è di scarsa efficacia. Altri elementi particolarmente vulnerabili sono caratterizzati da una certa snellezza, come guglie o vele.

⁴ Gruppo Nazionale Difesa Terremoti, oggi RELUIS

⁵

⁶ Cfr. GNDT, "Mitigazione del rischio sismico dei centri storici e degli edifici di culto dell'area del Matese della Regione Molise", S. Podestà, "Il rilievo della vulnerabilità e del danno sismico alle chiese", pp. 120-121.

Inoltre vi è da considerare anche una *vulnerabilità aggiunta* dovuta al naturale degrado dei materiali; senza contare le contromisure prese che, per mancanza di esperienza, si sono rivelate il più delle volte errate, causando, spesso, danni maggiori di quelli che si volevano curare⁷.

A queste problematiche, si aggiunge il fatto che le chiese sono frequentemente il risultato di continue trasformazioni, e quindi di diverse fasi costruttive. Ciò fa sì che nella compagine muraria siano presenti soluzioni di continuità, che costituiscono veri e propri punti di debolezza in caso di sisma.

Il significato del termine "*vulnerabilità*" è ben noto ed indica la predisposizione di un determinato manufatto ad essere danneggiato. L'obiettivo di un'analisi di rischio sismico è quello di valutare le perdite attese in un territorio, più o meno vasto, a seguito di un evento sismico di data intensità (analisi di scenario) o considerando tutti i possibili terremoti (analisi di rischio probabilistico). In entrambi i casi è necessario:

1. Individuare gli elementi esposti (edifici residenziali, edifici pubblici e/o strategici, infrastrutture, reti tecniche...).
2. Definire per ciascuno di essi appropriate misure del danno diretto (lesioni, perdita di funzionalità) e indiretto (vittime, senza tetto, danno economico).
3. Valutare attraverso studi sismologici la pericolosità sismica (ovvero le caratteristiche del terremoto atteso nel sito).
4. Stimare la vulnerabilità, ovvero la relazione funzionale tra pericolosità e danno.

Il rischio sismico è quindi il frutto di tre diversi fattori: l'esposizione, la pericolosità e la vulnerabilità. Esso è basso nelle aree poco antropizzate, in quanto è bassa l'esposizione della popolazione, cresce in relazione alla sismicità del territorio (in Italia la zona dell'Aquila è storicamente tra quelle a più elevata pericolosità), ma è anche funzione delle caratteristiche del costruito, cioè della loro vulnerabilità.

Fino agli anni novanta del secolo scorso i beni Culturali non venivano presi in considerazione nelle analisi di rischio, in quanto le caratteristiche di unicità di ciascun manufatto architettonico vincolato facevano ritenere poco attendibile una valutazione a scala territoriale con modelli semplificati, che difficilmente possono tenere conto della storia e delle caratteristiche costruttive di ciascun manufatto.

Il rischio sismico dei Beni Culturali è però un problema reale per l'Italia, sia per l'elevato numero di edifici tutelati, sia per la loro elevata vulnerabilità, evidenziata dai danni riportati in occasione di ogni terremoto.

Gli studi condotti sulle chiese a partire dall'osservazione dei danni dopo il terremoto in Friuli nel 1976⁸ e, in modo più sistematico, dopo il terremoto dell'Umbria e delle Marche nel 1997⁹ e del Molise nel 2002¹⁰, hanno dimostrato che i meccanismi di danno sismico nelle chiese presentano alcune caratteristiche ricorrenti, pur nella specificità di ciascun manufatto. L'osservazione sistematica dei danni prodotti da precedenti terremoti sul territorio italiano ha chiaramente evidenziato come il comportamento sismico delle chiese risulti inquadrabile secondo fenomenologie ricorrenti. Quindi, pur nella varietà delle tecniche costruttive, delle dimensioni e delle forme con cui si presentano le chiese d'epoche diverse, la fabbrica architettonica può risultare costruita da una facciata, un'aula – ad una o più navate-, un presbiterio e un'abside. A questi elementi si possono aggiungere il transetto, la cupola, cappelle laterali; inoltre è

⁷ Cfr. D. F, *Edifici Chiese*, tratto da: "Arkos", n°20, pp. 8-17, Luglio/Settembre, 2009.

⁸ Studi di Doglioni, Moretti e Petrini del 1994

⁹ Studi di Lagomarsino, Podestà nel 2004

¹⁰ Studi di Lagomarsino, Lemme, Podestà nel 2004

sempre presente un campanile o una vela in cui viene inserita la campana. Alla classificazione degli elementi architettonici corrisponde in genere un comportamento strutturale in gran parte autonomo, proprio in virtù della tipologia di questi manufatti: grandi spazi senza mura di spina interni (eccezione fatta per le colonne e gli archi a separazione tra le navate), assenza di orizzontamenti intermedi (o al massimo presenza di una volta), pareti snelle, accrescimenti successivi della fabbrica, con soluzioni di continuità nell'apparato murario. La struttura portante è quindi, nella maggior parte dei casi, leggibile abbastanza chiaramente e un'analisi semplificata può essere eseguita attraverso valutazioni qualitative.

La concomitanza di questi fattori determina la necessità di definire un "comportamento per parti": ciò significa che porzioni strutturali che compongono il manufatto, presentano dei meccanismi di collasso indipendenti gli uni dagli altri. Le campagne di rilievo dei danni subiti dalle chiese hanno messo in evidenza che i loro macroelementi sono principalmente caratterizzati da ribaltamenti fuori dal piano, poiché vengono meno le condizioni di equilibrio, dando luogo a distacchi di pareti, vistose rotazioni verso l'esterno e muri crollati per perdita di stabilità.

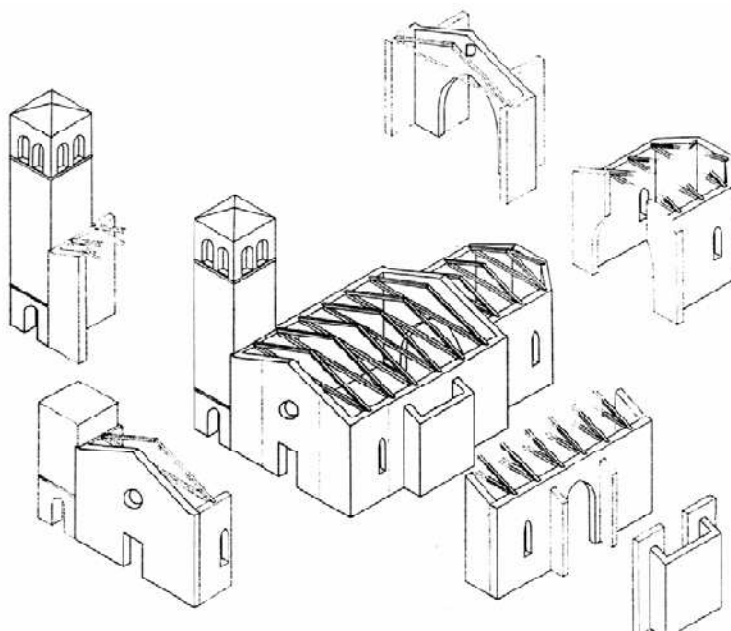


Figura 4.1 - Schematizzazione per macroelementi

Un corretto approccio allo studio della vulnerabilità sismica delle chiese è quello di suddividere la chiesa in macroelementi definibili come *"parte costruttivamente riconoscibile e compiuta del manufatto, che può coincidere con una parte identificabile anche sotto l'aspetto architettonico e funzionale (es. facciata, abside, cappelle...); solitamente è formata da più pareti ed elementi orizzontali connessi tra loro a costituire una parte costruttivamente unitaria per se in genere collegata e non indipendente dal complesso della costruzione"*¹¹.

L'analisi dei macroelementi non si pone in alternativa allo studio del comportamento della fabbrica nel suo

complesso, ma ne è propedeutica; la scomposizione dell'edificio in parti strutturali e funzionali e l'individuazione dei meccanismi di collasso che possono essere spiegati all'interno del singolo macroelemento, consentono di evidenziare dei cinematismi che sono originati dall'interazione tra le parti, ottenendo il risultato di scindere lo studio di comportamenti molto complessi nella composizione di analisi parziali relativamente più semplici. La metodologia adottata non solo facilita l'interpretazione qualitativa dei danni prodotti dal sisma, operando a livello di macroelemento, ma rende inoltre possibile la composizione tra manufatti diversi, in quanto i problemi legati alla complessità e originalità di una chiesa (stili architettonici diversi, evoluzione storica...) sono parzialmente superati considerando l'edificio come composizione di elementi semplici¹².

¹¹ F. Daglioni, V. Petrini, *Le chiese e il terremoto*, Edizioni LINT, Trieste, 1994, pag 9.

¹² Cfr. M. Arcuri, S. M. Cascone, G. Indelicato, *Vulnerabilità sismica*, tratto da: "Recupero e conservazione", n°88, pag 59.

Dall'osservazione sistematica su moltissime chiese, appartenenti anche a territori diversi per tipologie e materiali, sono stati individuati un certo numero di meccanismi di danno possibili, esplicitati da schemi grafici d'immediata comprensione.

Il primo importante esempio di studio sulle chiese è rappresentato dall'analisi eseguite sulle chiese friulane, colpite dal terremoto del 1976. In esso è stata sviluppata una metodologia di analisi della vulnerabilità che può essere ridotta a tre fasi:

1. Rilievo della fabbrica attraverso un'apposita scheda, estremamente dettagliata nella descrizione della geometria, dei materiali, del quadro fessurativo¹³;
2. Suddivisione della fabbrica nei macroelementi precedentemente definiti (facciata, abside, campanile...)¹⁴;
3. Individuazione dei possibili modi di danno e meccanismi di collasso associati a ciascun macroelemento¹⁵.

La metodologia consente quindi un esame schematico dei danni prodotti dal sisma, al fine di constatare a posteriori la vulnerabilità dei diversi elementi.

Questa impostazione ha consentito di definire una metodologia di rilievo del danno nell'emergenza, che permette di acquisire le informazioni rapidamente e in modo utile alla gestione dell'emergenza (oppure di pronto intervento, agibilità, stima economica del danno, supporto alla programmazione e controllo dei progetti).

Le schede sviluppate in occasione del terremoto in Umbria e Marche sono state successivamente pubblicate (Gazzetta Ufficiale n° 55/2006) e adottate ufficialmente dal sistema di gestione dell'emergenza sismica messo a punto dal Dipartimento della Protezione Civile che prevede per i beni culturali il coinvolgimento diretto dei funzionari del Ministero per i Beni e le Attività Culturali.

L'analisi statistica dei danni osservati ha portato alla formulazione di un modello di vulnerabilità che consente di attribuire a ciascuna chiesa un indice di vulnerabilità, in funzione degli elementi di debolezza e di presidio nei diversi macroelementi riscontrati sul campo, e di stimare il danno in funzione dell'intensità sismica attesa. Questo modello è stato adottato nelle *Linee Guida* (Gazzetta Ufficiale n°24/2008), predisposte dal ministero per i Beni e le Attività Culturali come strumento di valutazione del rischio e programmazione degli interventi di prevenzione sul patrimonio tutelato, oltre che di indirizzo di controllo dei progetti di miglioramento sismico.

Questa lettura del danno sismico in termini di macroelementi e meccanismi di collasso ha inoltre consentito di definire nuovi modelli di valutazione nella risposta sismica, fondati sulla statica dei corpi rigidi e sui metodi tradizionali di analisi limite di equilibrio¹⁶. Le recenti Norme Tecniche delle Costruzioni adottano questo approccio (Gazzetta Ufficiale n° 47/2009), che risulta di grande utilità nella progettazione di interventi di consolidamento antisismico.

¹³ Si veda il paragrafo successivo.

¹⁴ Si veda il paragrafo e.

¹⁵ Cfr. F. Daglioni, V. Petrini, *Le chiese e il terremoto*, Edizioni LINT, Trieste, 1994, pag 9.

¹⁶ Studi di Logomarsino e Resemini del 2009.

b.2_Le linee guida per la valutazione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni

Le Linee Guida¹⁷, fornite dal Ministero per i Beni e le Attività Culturali, sono state redatte con l'intento di specificare un percorso di conoscenza, valutazione della sicurezza sismica e progetto degli eventuali interventi, concettualmente analogo a quello previsto per le costruzioni non tutelate, ma opportunamente adattato alle esigenze di peculiarità del Patrimonio Culturale. La finalità è quella di formulare, nel modo più oggettivo possibile, il giudizio finale sulla sicurezza e sulla conservazione garantite dall'intervento di miglioramento sismico. In particolare, questo documento, è riferito alle sole costruzioni in muratura.

Per la conservazione in condizioni di sicurezza del patrimonio culturale in area sismica è necessario disporre di strumenti di analisi a diverso livello di approfondimento, applicabili a due diverse scale: la valutazione della vulnerabilità del patrimonio culturale a scala territoriale; la valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi sul singolo manufatto.

I diversi capitoli delle Linee Guida forniscono indicazioni per definire l'azione sismica, in relazione alla pericolosità del sito ed alla destinazione d'uso del manufatto, e la capacità della struttura, attraverso una corretta conoscenza e modellazione del manufatto.

1. *Capitolo 1:* Vengono definiti i contenuti e le finalità del documento¹⁸.
2. *Capitolo 2:* Vengono suggeriti i requisiti di sicurezza ritenuti adeguati per i beni architettonici di valore storico artistico. Sono opportunamente ridefiniti gli stati limite di riferimento, che non si riferiscono solo ad esigenze di salvaguardia dell'incolumità delle persone (stato limite ultimo) e di funzionalità (stato limite di danno), ma anche alla perdita del manufatto ed ai danni ai beni di valore artistico in esso contenuti. Sono inoltre suggeriti i livelli di protezione sismica, in relazione alle esigenze di conservazione ed alle condizioni d'uso¹⁹.
3. *Capitolo 3:* Vengono fornite indicazioni per una accurata definizione dell'azione sismica, che risulta particolarmente utile in quanto il confronto tra l'accelerazione di collasso e quella attesa al suolo non ha un valore cogente ma deve contribuire ad esprimere un giudizio sul livello di rischio del manufatto. La suddivisione del territorio italiano in quattro zone, attribuendo a ciascuna un prefissato valore dell'azione sismica, rappresenta uno schema semplice ed efficace per la progettazione di nuove strutture ma può condurre a stime in eccesso o in difetto, che possono risultare critiche per la conservazione di un manufatto esistente. L'azione sismica di riferimento viene quindi valutata beneficiando degli studi già disponibili sulla pericolosità sismica del territorio italiano ed effettuando, approfondimenti sulle caratteristiche locali del sito (microzonazione)²⁰.
4. *Capitolo 4:* Viene indicata la necessità di conoscenza del manufatto, che dovrà essere acquisita mediante un accurato rilievo geometrico, un'analisi storica indirizzata a conoscere gli interventi subiti nel tempo dal manufatto, un rilievo materico e costruttivo finalizzato all'individuazione

¹⁷ *Le linee guida per la valutazione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni* cui noi facciamo riferimento è il documento emanato dall'Assemblea Generale del Consiglio Superiore dei LL. PP. nella seduta del 21 luglio 2006.

¹⁸ Cfr. Ministero per i Beni e le Attività Culturali, *Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*, Gangemi Editore, Roma, 2005, pp. 3-4.

¹⁹ Cfr. Ministero per i Beni e le Attività Culturali, *Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*, Gangemi Editore, Roma, 2005, pp. 4-9

²⁰ Cfr. Ministero per i Beni e le Attività Culturali, *Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*, Gangemi Editore, Roma, 2005, pp. 10-11

dello stato di conservazione dell'opera e delle sue parti, la caratterizzazione meccanica dei materiali che compongono gli apparati della costruzione, un'analisi delle fondazioni e del terreno avendo come scopo quello di verificarne la bontà e il monitoraggio dello stato di conservazione del bene. Il tutto va visto in una logica di ottimizzazione delle risorse disponibili per l'analisi e la valutazione²¹.

5. *Capitolo 5*: Sono illustrate le diverse possibilità di modellazione del comportamento strutturale di una costruzione storica in muratura. In particolare, per la valutazione della sicurezza sismica vengono individuati tre diversi livelli, di crescente dettaglio, applicabili rispettivamente: LV1) per le valutazioni della sicurezza sismica da effettuarsi a scala territoriale su tutti i beni culturali tutelati; LV2) per le valutazioni da adottare in presenza di interventi locali su zone limitate del manufatto; LV3) per il progetto di interventi che modificano il funzionamento strutturale accertato o quando venga comunque richiesta un'accurata valutazione della sicurezza sismica del manufatto²².
6. *Capitolo 6*: Sono descritti i criteri da seguire per il miglioramento sismico, ovvero per la riduzione delle vulnerabilità accertate sulla base dei risultati della modellazione e dell'osservazione degli eventuali danni. Per ciascuna problematica sono anche indicate le possibili tecniche di intervento, che vengono esaminate criticamente in relazione alla loro efficacia, al loro impatto sulla conservazione (non invasività, reversibilità e durabilità) ed ai costi²³.

b.3_Le schede per il rilievo del danno e della vulnerabilità delle chiese

La "scheda chiese", messa a punto per il rilievo del danno sismico delle chiese della Lunigiana e Garfagnana danneggiate nel terremoto del 1995, utilizzate nei successivi eventi sismici che hanno colpito la penisola italiana, furono già precedentemente applicate, quando ancora erano in fase di studio, in molte attività del GNDT (Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti) ed in particolare nelle chiese della provincia di Modena e Reggio Emilia, colpite da un sisma nel 1987. Proprio gli studi a seguito di tale terremoto hanno messo in evidenza come le chiese risultino, in genere, più vulnerabili rispetto ad altre tipologie di manufatti ed in particolare rispetto agli edifici civili. Infatti, terremoti che non presentano un impatto significativo sull'edilizia residenziale, ovvero che producono danni ad elementi non strutturali o comunque lievi fessurazioni che non comportano inagibilità, determinano situazioni di instabilità in alcuni elementi delle chiese, spesso con crolli locali in alcune parti. Lo studio delle schede è stato ulteriormente approfondito in occasione del rilievo dei danni in alcuni centri dell'Umbria e delle Marche danneggiati dal terremoto del 1997. Il 3 maggio 2001 viene emesso un decreto interministeriale, che aggiorna la scheda chiese, estendendo i meccanismi di danno da 18 a 28. L'idoneità del nuovo modello per il rilievo del danno post-sisma viene poi verificata in occasione delle emergenze degli ultimi anni, quali il sisma del Molise-

²¹ Cfr. Ministero per i Beni e le Attività Culturali, *Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*, Gangemi Editore, Roma, 2005, pp. 11-19

²² Cfr. Ministero per i Beni e le Attività Culturali, *Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*, Gangemi Editore, Roma, 2005, pp. 20-35

²³ Cfr. Ministero per i Beni e le Attività Culturali, *Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*, Gangemi Editore, Roma, 2005, pp. 36-46

Puglia del 2002, quello dell'Appennino tosco-emiliano del settembre 2003 e l'evento della provincia di Brescia avvenuto nel 2004²⁴.

Quest'impostazione, tuttavia, presuppone che la previsione dei danni sismici sulle chiese in un dato territorio possa essere fatta solo dopo una constatazione preventiva dei danni prodotti da un sisma su chiese analoghe e, in considerazione della grande variabilità, c'è il rischio di non potere utilizzare questo metodo ai fini di protezione. Le metodologie di rilievo in cui si è considerato come aspetto principale quello tipologico hanno, infatti, evidenziato dei limiti nell'interpretazione dei danni anche su corpi di fabbrica architettonicamente simili, mettendo in luce come la sola tipologia non possa essere presa come unico parametro discriminante per valutare la risposta strutturale di un edificio sottoposto ad azioni dinamiche. Tali fattori hanno determinato la formulazione di un nuovo metodo che sintetizza i diversi modi di danno che si sono evidenziati a seguito di un sisma in un certo numero di meccanismi di collasso fondamentali. In questo modo le diverse modalità con le quali i macroelementi differenti per proporzioni e materiali si lesionano vengono riconosciute cogliendone il cinematismo di collasso. Questi cinematismi sono sempre riconducibili ai due meccanismi fondamentali che si realizzano tra due corpi rigidi, ovvero tra le due porzioni in cui si divide il solido murario a seguito di una fessurazione: la rotazione o lo scorrimento relativo, associati al comportamento degli elementi sollecitati, rispettivamente, da azioni fuori dal piano o nel piano dell'elemento stesso. Essi si evidenziano in maniera differente nei diversi macroelementi della chiesa in relazione alla loro forma. Si può utilizzare questa metodologia sia in termini di prevenzione sia nella gestione di un'emergenza sismica. La strategia della prevenzione è certamente indispensabile se si vuole ridurre il rischio sismico. Questa infatti consente un censimento rapido delle chiese su un certo territorio, attraverso una conoscenza delle caratteristiche tipologiche essenziali alla valutazione della risposta sismica. Al fine di una più affidabile previsione del danno atteso, oltre ad alcune indicazioni dimensionali, la scheda mira ad individuare le carenze costruttive che favoriscono l'attivazione di ciascun meccanismo di danno. Tali carenze sono spesso legate a dettagli piuttosto che a considerazioni generali sulla fabbrica (presenza di catene, ammorsamenti...). Inoltre il rilievo del danno pregresso rappresenta un'ulteriore preziosa informazione, in quanto i terremoti del passato lasciano segni che spesso non vengono cancellati e possono ancora oggi essere riconosciuti. Il risultato di questa analisi è ovviamente lo scenario di danno atteso a fronte del terremoto di riferimento per l'area. Questo può indirizzare le strategie di prevenzione a livello territoriale, ovvero tramite analisi costi-benefici, definire come utilizzare al meglio le risorse disponibili per ridurre il rischio sismico e suggerire, per il singolo manufatto, gli interventi di miglioramento che permettono di ottenere un'effettiva conservazione del bene senza sottovalutare le problematiche della sicurezza²⁵.

La scheda è finalizzata ad una catalogazione delle caratteristiche tipologiche e strutturali delle chiese presenti su un dato territorio, attraverso rapide operazioni di rilievo sul campo, che non necessitano di particolare strumentazione. Essa può essere utilizzata a seguito di un evento sismico, per il rilievo del danno prodotto, sia in fase preventiva, come strumento per l'analisi della vulnerabilità.

La scheda è articolata in sette sezioni, oltre alla parte identificativa iniziale contiene alcuni dati generali sul sito, la connessione con edifici adiacenti, lo stato di manutenzione e le condizioni d'uso.

1. *Dati tipologici e dimensionali*: contiene informazioni sulla tipologia e la dimensione della chiesa, scomposta nei diversi elementi architettonici (aula, presbiterio, abside, transetto, cappelle, copertura, cupola, cripta, facciata, campanile...); l'attenzione è concentrata sugli elementi

²⁴ Cfr. Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri, 23 Febbraio 2006.

²⁵ Cfr. GNDT, "Mitigazione del rischio sismico dei centri storici e degli edifici di culto dell'area del Matese della Regione Molise", S. Podestà, "Il rilievo della vulnerabilità e del danno sismico alle chiese", pp. 122-123.

strutturali determinanti per la risposta sismica (contrafforti, catene...). Le poche misure richieste costituiscono un'indicazione di massima sulla dimensione della chiesa, utile ad esempio nella stima dei costi dell'intervento e possono essere facilmente acquisite. L'obiettivo di questa sezione è quello di guidare il rilevatore attraverso un percorso di conoscenza della fabbrica scomposta nei diversi elementi che la compongono.

2. *Danni ed elementi di valore artistico*: segnala la presenza di beni artistici all'interno della chiesa, senza entrare nel merito del loro valore ma di segnalare gli eventuali danni prodotti dal sisma. Questi possono essere direttamente associati al lesionamento della fabbrica (affreschi), dovuti al distacco di elementi decorativi (stucchi) o al ribaltamento di elementi di pregio (sculture), indotti dalla caduta di porzioni murarie su arredi sacri o tabernacoli, organi).
3. *Indice di danno e di vulnerabilità*: nella sezione sono individuati 28 meccanismi di danneggiamento e collasso caratteristici delle chiese, illustrati nell'abaco dei meccanismi di collasso riportati nelle figure 2, 3 e 4. Per ogni meccanismo vanno fornite le seguenti indicazioni: la presenza del macroelemento cui si riferisce il meccanismo, l'entità dell'eventuale danno (1: danno lieve, 2 danno moderato, 3: danno medio, 4: danno grave, 5: crollo), le vulnerabilità intrinseche della fabbrica a quel meccanismo tramite due indicatori legati a specifiche carenze costruttive.
4. *Caratteristiche della muratura*: le diverse murature nei vari macroelementi vengono descritte in apposite schede allegate, facendo riferimento alle caratteristiche degli elementi costruttivi e della malta, alla tessitura dei paramenti ed alla composizione della sezione trasversale. L'impostazione trae origine da ricerche precedentemente sviluppate dalla professoressa Binda (1998), della cui scheda questa sezione rappresenta una sintesi. Per la compilazione della scheda è necessario che sia visibile il paramento – ovvero che non vi sia intonaco- per almeno un metro quadrato di superficie. Il rilievo della sezione trasversale è molto importante per la valutazione della qualità muraria e non è in genere possibile se non in presenza di un danno per crollo o a fronte di indagini parzialmente distruttive.
5. *Agibilità*: in tale sezione al rilevatore è richiesto un giudizio sull'agibilità della struttura, scegliendo tra quattro possibilità: agibile, agibile con provvedimenti di pronto intervento, parzialmente agibile, inagibile. Nel caso di agibilità parziale il rilevatore deve indicare quale parte della fabbrica è ritenuta agibile e quali zone devono essere invece transennate perché ritenute non fruibili. L'ultima scelta, quella del caso di agibilità con provvedimenti di pronto intervento, richiede invece che siano precisati quali sono i provvedimenti ritenuti necessari a fronte dei quali è possibile ridare immediatamente agibilità alla fabbrica.
6. *Annotazioni*: sono rivolti a segnalare la necessità di interventi urgenti per la salvaguardia del bene o della pubblica incolumità o ad evidenziare situazioni particolari che non dovessero emergere dalle descrizione della tipologia e del danno precedente descritte nelle sezioni 1 e 3.
7. *Elaborati grafici*: pianta, prospetti, sezioni e schizzi per meglio chiarire la geometria, i dettagli strutturali o particolari meccanismi di danni attivati.

Questa scheda è un'evoluzione di quella utilizzata in Umbria e Marche. L'applicazione su quasi 3000 chiese ha evidenziato l'efficacia di tale approccio ma ha anche messo in luce alcune carenze che precedentemente non erano emerse.

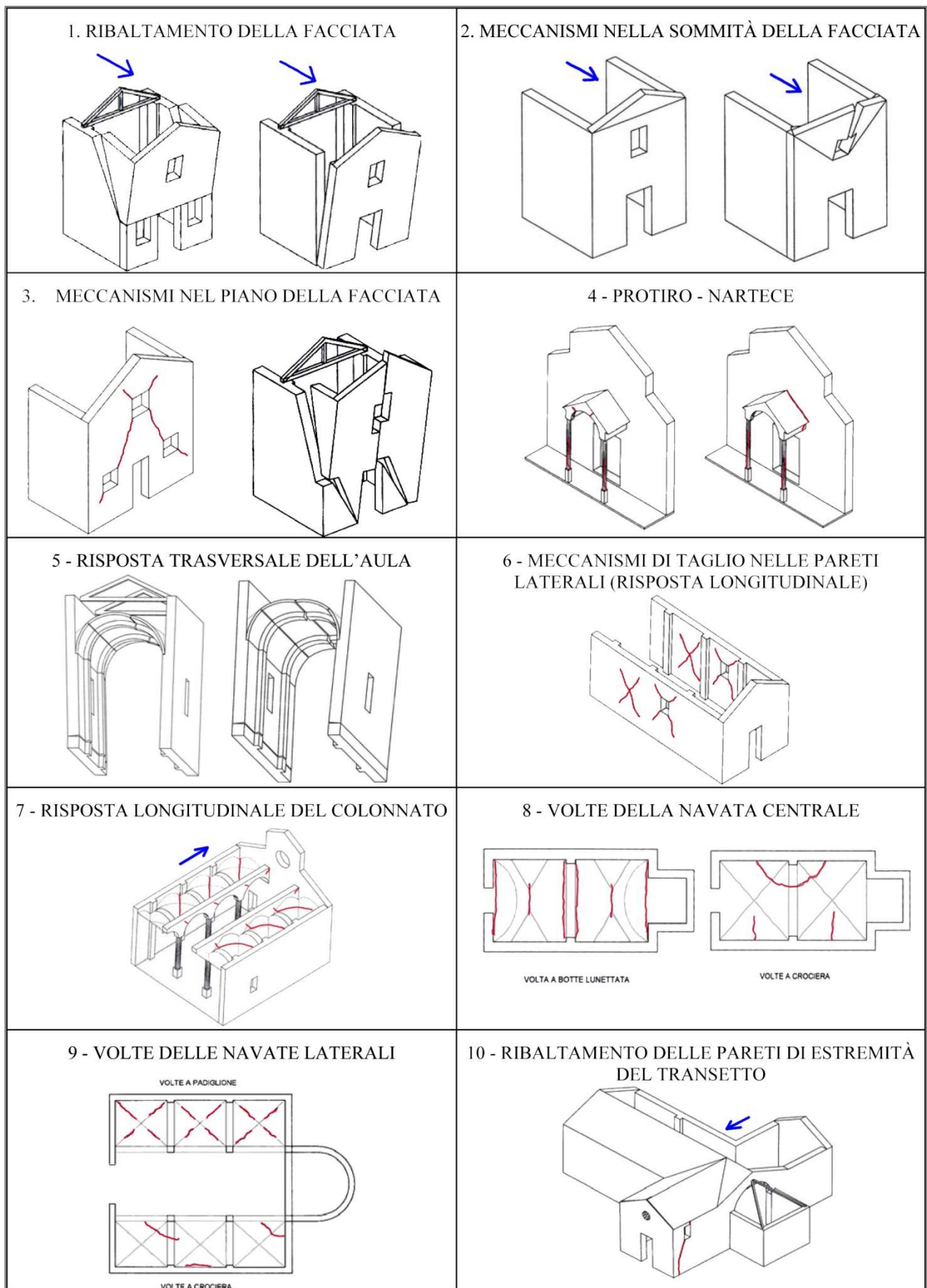


Figura 4.1 - Abaco dei meccanismi di collasso delle chiese 1-10.

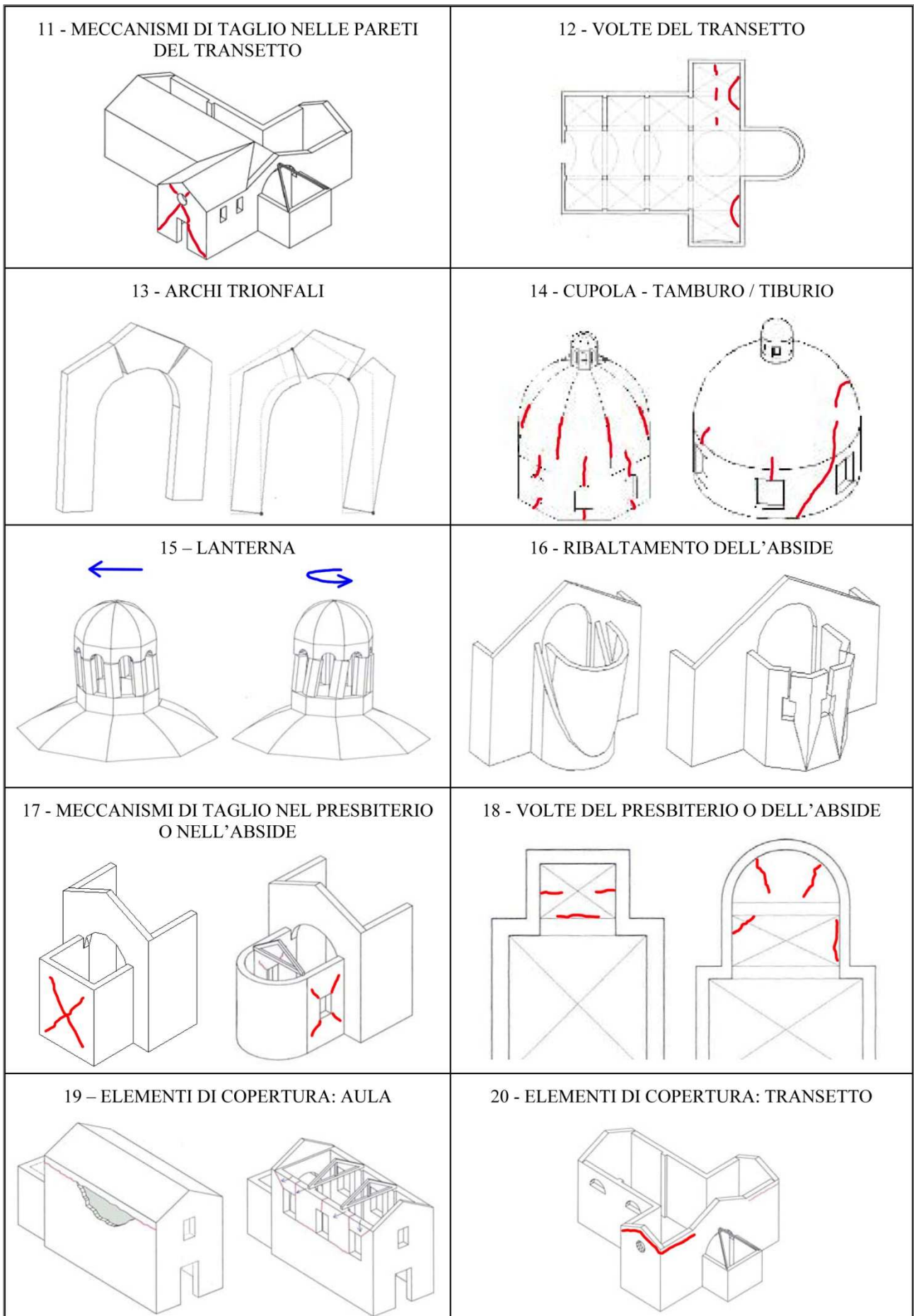


Figura 4.2 - Abaco dei meccanismi di collasso delle chiese 11-20.

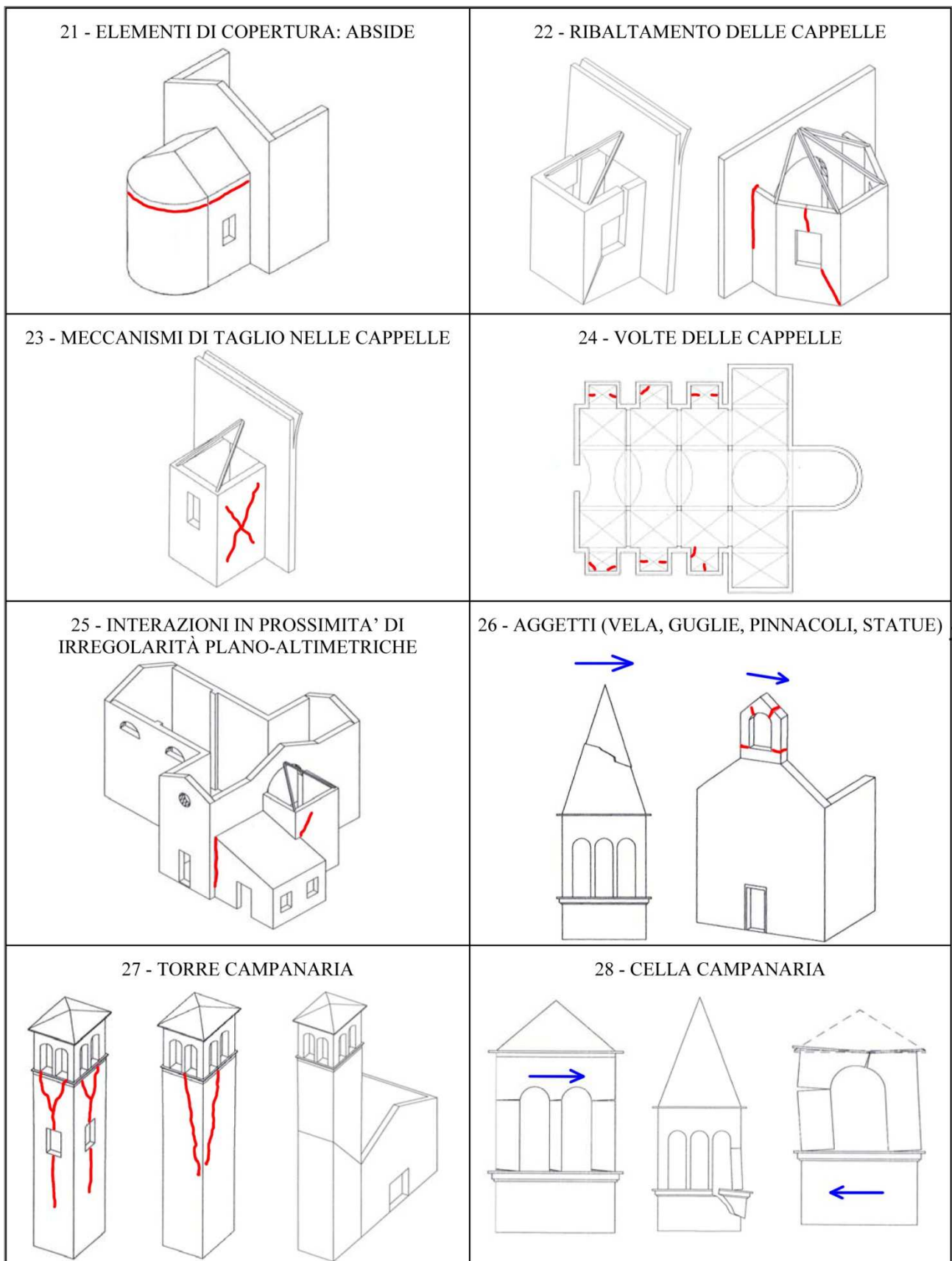




Figura 4.3 - Abaco dei meccanismi di collasso nelle chiese 21-28.

b.4_Scheda per il rilievo del danno ai beni culturali – chiesa di san Biagio Amiternum


La scheda per il rilievo del danno ai beni culturali – chiese, dell'Oratorio di san Giuseppe dei Minimi, è stata redatta da Marco Munari, dell'Università di Padova, in data 17 aprile 2009. La scheda è stata compilata quando l'edificio non era ancora stato messo in sicurezza, pertanto il sopralluogo non è potuto essere completo.


SI 176


Presidenza del Consiglio dei Ministri
DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE

Ministero per i Beni e le Attività Culturali

GRUPPO DI LAVORO PER LA SALVAGUARDIA E LA PREVENZIONE DEI BENI CULTURALI DAI RISCHI NATURALI



SISMA

EMERGENZA POST-SISMA

SCHEDA PER IL RILIEVO DEL DANNO AI BENI CULTURALI – CHIESE

MODELLO A – DC
Prima sezione

A₁

Data	N° progressivo	N° Scheda
15 04 2009	001	_____

(a cura dell'ufficio)

A₂ – RIFERIMENTO VERTICALE

Bene complesso <input type="radio"/>	Bene individuo <input checked="" type="radio"/>
Denominazione bene complesso: _____	
Numero schede beni componenti _____	Codice livello superiore _____
Tipologia <input checked="" type="checkbox"/> chiesa <input type="checkbox"/> canonica <input type="checkbox"/> palazzo <input type="checkbox"/> castello <input type="checkbox"/> torre <input type="checkbox"/> bene archeologico <input type="checkbox"/> altro	
Pianta <input checked="" type="radio"/> regolare <input type="radio"/> con cortili <input type="radio"/> ad ali aperte <input type="radio"/> lineare <input type="radio"/> altro _____	

A₃ – LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICO AMMINISTRATIVA

Regione	Codice Istat comune	Indirizzo
ABR UZ Z O	_____	SAN BIAGIO
Provincia	_____	1 <input type="radio"/> via _____
LA QL LA	_____	2 <input type="radio"/> corso _____
Comune	_____	3 <input type="radio"/> vicolo _____
LA QL LA	_____	4 <input checked="" type="radio"/> piazza _____
Località	_____	5 <input type="radio"/> località _____
Sezione censuaria _____	N° complesso o aggregato _____	N° edificio _____
Foglio _____	Data _____	Particelle _____
		Sub _____

A₄ – COORDINATE UTM

Quadrante _____	Longitudine Est (x) _____° _____'	Latitudine Nord (y) _____° _____'	<input type="radio"/> Lettura GPS
-----------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------

A₅ – OGGETTO

Denominazione bene:	_____
Denominazione storica:	_____
Datazione: anno _____ secolo _____ epoca _____	Ultima trasformazione _____
Proprietà: CURIA _____	_____
Utilizzatore: DINI LUIGI EPICOPIO _____	_____

Figura 4.5 – Scheda per il rilievo dei danni ai beni culturali – chiesa di san Biagio Amiternum, pagina 1.

1

A₆ – DESTINAZIONE D'USO ATTUALE

Uso	Utilizzazione temporale			Affollamento
	Continuo	Saltuario	Non utilizzato	
Cattedrale / Duomo <input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
Chiesa parrocchiale <input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Oratorio <input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
Santuario <input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
Museo <input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
Auditorium <input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
Servizi <input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
Altro <input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>

A₇ – CARATTERISTICHE DEL SITO LEGGERO

In piano Su rilievo / su cresta / su vetta Su riporto In pendio / ~~su versante~~ Avvallamento

A₈ – CONTESTO URBANO E POSIZIONE

Centro urbano Periferia urbana Area industriale - commerciale Area agricola Centro storico

Isolata Connessa con altri edifici su 2 lati Altro

A₉ – INFRASTRUTTURE

Accesso pedonale <input checked="" type="radio"/>	Rete viaria idonea in relazione al rischio <input type="checkbox"/>
Accesso carrabile <input checked="" type="radio"/>	Parcheggio nelle vicinanze <input checked="" type="checkbox"/>
Accesso con altezza inferiore a 4 metri <input type="radio"/>	Spazi aperti a disposizione <input checked="" type="checkbox"/>
Accesso con mezzi pesanti <input type="radio"/>	Altro <input type="checkbox"/>

A₁₀ – PRESENZA DI RISCHIO

		RILEVAZIONE DIRETTA	INFORMAZIONI ACQUISITE
Insedimento minacciato da frana	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Insedimento in zona alluvionabile	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Insedimento soggetto a minacce di tipo industriale	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Insedimento soggetto ad altre minacce naturali	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

A₁₁ – TIPOLOGIA DEI BENI ARTISTICI PRESENTI

TIPOLOGIA	Num.	superficie	TIPOLOGIA	Num.	superficie
Affreschi <input checked="" type="checkbox"/>	<u> </u>	<u> </u>	Dipinti mobili su vario supporto	<input type="checkbox"/>	<u> </u>
Mosaici <input type="checkbox"/>	<u> </u>	<u> </u>	Arredi (soffitti, amboni, pulpito, stalli corali)	<input type="checkbox"/>	<u> </u>
Stucchi <input type="checkbox"/>	<u> </u>	<u> </u>	Decorazioni plastiche mobili	<input type="checkbox"/>	<u> </u>
Arazzi <input type="checkbox"/>	<u> </u>	<u> </u>	Manufatti in carta e pergamena	<input type="checkbox"/>	<u> </u>
Altari / statue <input checked="" type="checkbox"/>	<u> </u>	<u> </u>	Reperti archeologici	<input type="checkbox"/>	<u> </u>
Libri / Stampe <input type="checkbox"/>	<u> </u>	<u> </u>	Altri	<input type="checkbox"/>	<u> </u>

A₁₂ – DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA - Realizzata da MARCO MUNARI SI NO

A₁₃ – COMPILATORE SCHEDA

Cognome MUNARI Nome MARCO

Ente/ufficio di appartenenza UNIVERSITA' DI PAVIA

☎ 3492891600 E-Mail: marco.munari@unipi.it

2

Figura 4.6 – Scheda per il rilievo dei danni ai beni culturali – chiesa di san Biagio Amitenum, pagina 2.

14	CUPOLA – TAMBURO/TIBURIO	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NELLA CUPOLA (AD ARCO) CON EVENTUALE PROSECUZIONE NEL TAMBURO	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
15	LANTERNA	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NEL CUPOLINO DELLA LANTERNA – ROTAZIONI O SCORRIMENTI DEI PIEDRITTI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
16	RIBALTAMENTO DELL'ABSIDE	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	LESIONI VERTICALI O ARCUATE NELLE PARETI DELL'ABSIDE – LESIONI VERTICALI NEGLI ABSIDI POLIGONALI – LESIONE AD U NEGLI ABSIDI SEMICIRCOLARI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
17	MECCANISMI DI TAGLIO NEL PRESBITERIO O NELL'ABSIDE	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	LESIONI INCLINATE (SINGOLE O INCROCIATE) – LESIONI IN CORRISPONDENZA DI DISCONTINUITÀ MURARIE	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
18	VOLTE DEL PRESBITERIO O DELL'ABSIDE	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	LESIONI NELLE VOLTE O SCONNESSIONI DAGLI ARCONI O DALLE PARETI LATERALI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
19	MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA – PARETI LATERALI DELL'AULA	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI VICINE ALLE TESTE DELLE TRAVI LIGNEE, SCORRIMENTO DELLE STESSE – SCONNESSIONI TRA CORDOLI E MURATURA – MOVIMENTI SIGNIFICATIVI DEL MANTO DI COPERTURA	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
20	MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA – TRANSETTO	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI VICINE ALLE TESTE DELLE TRAVI LIGNEE, SCORRIMENTO DELLE STESSE – SCONNESSIONI TRA I CORDOLI E MURATURA – MOVIMENTI SIGNIFICATIVI DEL MANTO DI COPERTURA	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
21	MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA – ABSIDE E PRESBITERIO	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI VICINE ALLE TESTE DELLE TRAVI LIGNEE, SCORRIMENTO DELLE STESSE – SCONNESSIONI TRA I CORDOLI E MURATURA – MOVIMENTI SIGNIFICATIVI DEL MANTO DI COPERTURA	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
22	RIBALTAMENTO DELLE CAPPELLE	<input type="checkbox"/>
danno	DISTACCO DELLA PARETE FRONTALE DALLE PARETI LATERALI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
23	MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI DELLE CAPPELLE	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI INCLINATE (SINGOLE O INCROCIATE) – LESIONI IN CORRISPONDENZA DI DISCONTINUITÀ MURARIE	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
24	VOLTE DELLE CAPPELLE	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NELLE VOLTE O SCONNESSIONI DALLE PARETI LATERALI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
25	INTERAZIONI IN PROSSIMITÀ DI IRREGOLARITÀ PLANO-ALTIMETRICHE (CORPI ADIACENTI, ARCHI RAMPANTI)	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	MOVIMENTO IN CORRISPONDENZA DI DISCONTINUITÀ COSTRUTTIVE - LESIONI NELLA MURATURA PER MARTELLAMENTO	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
26	AGGETTI (VELA, GUGLIE, PINNACOLI, STATUE)	<input type="checkbox"/>
danno	EVIDENZA DI ROTAZIONI PERMANENTI O SCORRIMENTO – LESIONI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
27	TORRE CAMPANARIA	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI VICINO ALLO STACCO DAL CORPO DELLA CHIESA – LESIONI A TAGLIO O SCORRIMENTO – LESIONI VERTICALI O ARCUATE (ESPULSIONE DI UNO O PIÙ ANGOLI)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
28	CELLA CAMPANARIA	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NEGLI ARCHI – ROTAZIONI O SCORRIMENTI DEI PIEDRITTI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

A₁₇ - INDICE DI DANNO

$n = 13$ (numero dei meccanismi possibili) $d = 18$ (punteggio totale di danno) $i_d = d / 5n = 0,3$

Figura 4.8 – Scheda per il rilievo dei danni ai beni culturali – chiesa di san Biagio Amitenum, pagina 4.

A₁₈ - AGIBILITA'

Agibile Inagibile

Parzialmente Agibile <input type="radio"/>	Agibile con Provvedimenti <input type="radio"/>	Temporaneamente Inagibile <input type="radio"/>	Inagibile per cause Esterne <input type="radio"/>
Indicare le parti agibili	Segnalare i provvedimenti anche indicandoli nella tabella sottostante	<input type="checkbox"/> Verifica più accurata <input type="checkbox"/> Si consiglia visita di esperti <input type="checkbox"/> Altro	Indicare le cause esterne

A₁₉ - TIPO DI VISITA

Completa Parziale Solo dall'esterno Motivi ostativi **PERICOLI DI CROLLO**

A₂₀ - PROVVEDIMENTI DI P.I. SUGGERITI (* interventi limitati ** interventi estesi)

PROVVEDIMENTI	*	**	PROVVEDIMENTI	*	**
1 Revisione manto di copertura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8 Ripristino smaltimento delle acque meteoriche	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 Copertura provvisoria	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9 Monitoraggio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 Puntellamenti	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10 Protezioni o consolidamenti su opere d'arte fisse	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4 Rimozione delle macerie	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	11 Catalogazione e smontaggio delle parti pericolanti	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 Transennamenti / recinzioni / protezioni	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	12 Sgombero opere d'arte mobili	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6 Consolidamenti localizzati	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	13 Raccolta sistematica dei frammenti	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7 Messa in opera di cerchiatura e/o tiranti	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	14 Ricovero e protezione dei frammenti	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

A₂₁ - DANNI ALL'APPARATO DECORATIVO E ALLE OPERE D'ARTE (scheda dettagliata a parte)

A_{21.1} - Descrizione apparato decorativo o opera d'arte
 Volte dell'aula affrescate
 Monumento funerario a "Camponeschi" (XIV. sec)

A_{21.2} - Descrizione danno
 Non rilevabile

A_{21.3} - Provvedimenti provvisori sugli apparati decorativi e sgombero opere d'arte mobili

SI CONSIGLIA INTERVENTO STORICO DELL'ARTE

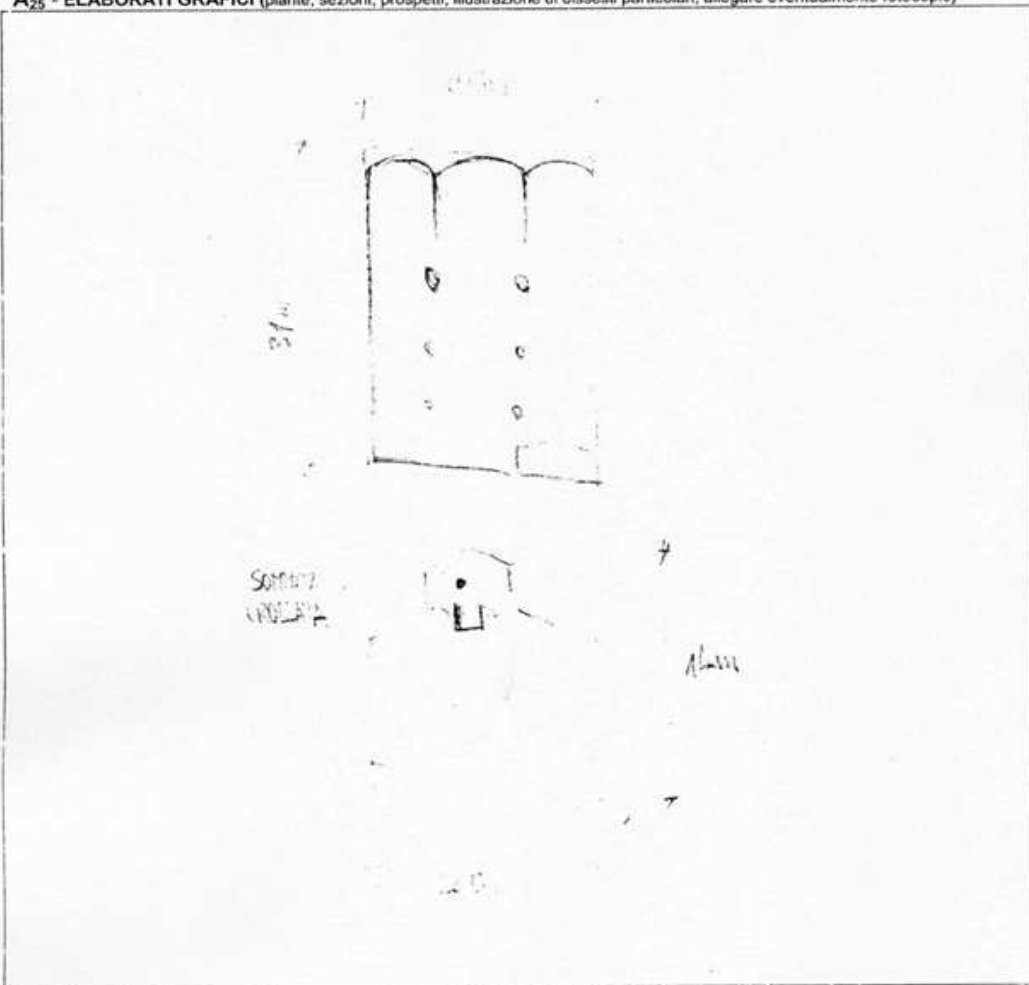
All'interno è presente il monumento funerario a "Camponeschi" (XIV sec.), ancorato al muro laterale. Se possibile rimuovere, altrimenti proteggere con sottostruttura.

STIMA DEL COSTO PER LA SALVAGUARDIA DELLE OPERE D'ARTE

€ _____,00

Figura 4.9 – Scheda per il rilievo dei danni ai beni culturali – chiesa di san Biagio Amitenum, pagina 5.

A₂₅ - ELABORATI GRAFICI (piante, sezioni, prospetti, illustrazione di dissesti particolari, allegare eventualmente fotocopie)



A₂₆ - DOCUMENTAZIONE ALLEGATA

SI NO

Blank lines for documentation.

A₂₇ - SQUADRA CHE HA ESEGUITO IL RILIEVO

SISMA	C.O.M.		SQUADRA N.
<i>Componenti della squadra</i>			
Cognome e nome	Qualifica	Ente appartenenza	Firma
MODENA CLAUDIO	ING.	UNIPA - DCT	<i>[Signature]</i>
MONARI MARGO	ING.	UNIPA DCT	<i>[Signature]</i>
CASAGLIA ENNIO	GEOM.	SBAU	<i>[Signature]</i>
FANTOZZI CARLO FIORE	GEOM.	SBAU	<i>[Signature]</i>
FARINOM PIETRO	ARCH.	BAP - ABRUZZO	<i>[Signature]</i>

Modello A-DC PCM-DPC MIBAC 2006

Figura 4.11 – Scheda per il rilievo dei danni ai beni culturali – chiesa di san Biagio Amitenum, pagina 7.

b.5_Scheda per il rilievo del danno ai beni culturali –chiese, oratorio di san Giuseppe dei Minimi

La scheda per il rilievo del danno ai beni culturali – chiese, dell’Oratorio di san Giuseppe dei Minimi, è stata redatta da Marco Munari, dell’Università di Padova, in data 17 aprile 2009. La scheda è stata compilata senza poter accedere all’interno dell’edificio in quanto non è stato possibile, durante l’emergenza, le chiavi.




 Presidenza del Consiglio dei Ministri DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE	SI 204	 Ministero per i Beni e le Attività Culturali
GRUPPO DI LAVORO PER LA SALVAGUARDIA E LA PREVENZIONE DEI BENI CULTURALI DAI RISCHI NATURALI		
RF Cir 490221 Cir 490222		SISMA
EMERGENZA POST-SISMA		
SCHEDA PER IL RILIEVO DEL DANNO AI BENI CULTURALI – CHIESE		
MODELLO A – DC Prima sezione		
A₁		
Data 17 04 2009	N° progressivo 0001	N° Scheda _____ <small>(a cura dell'ufficio)</small>
A₂ – RIFERIMENTO VERTICALE		
Bene complesso <input type="radio"/> Bene individuo <input checked="" type="radio"/>		
Denominazione bene complesso: _____		
Numero schede beni componenti _____		Codice livello superiore _____
Tipologia <input checked="" type="checkbox"/> chiesa <input type="checkbox"/> canonica <input type="checkbox"/> palazzo <input type="checkbox"/> castello <input type="checkbox"/> torre <input type="checkbox"/> bene archeologico <input type="checkbox"/> altro		
Pianta <input checked="" type="radio"/> regolare <input type="radio"/> con cortili <input type="radio"/> ad ali aperte <input type="radio"/> lineare <input type="radio"/> altro _____		
A₃ – LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICO AMMINISTRATIVA		
Regione AB R U 2 20 _____	Codice Istat comune _____	Indirizzo R 0 1 0 _____
Provincia L P A Q U I L A _____	_____	1 <input checked="" type="radio"/> via _____
Comune L P A Q U I L A _____	_____	2 <input type="radio"/> corso _____
Località _____	_____	3 <input type="radio"/> vicolo _____
Sezione censuaria _____	N° complesso o aggregato _____	4 <input type="radio"/> piazza _____
Foglio _____	Data _____	5 <input type="radio"/> località num.civico _____
Particelle _____	Sub. _____	N° edificio _____
A₄ – COORDINATE UTM		
Quadrante _____	Longitudine Est (x) _____° _____'	Latitudine Nord(y) _____° _____' <input type="radio"/> Lettura GPS
A₅ – OGGETTO		
Denominazione bene: S A N G I U S E P P E D E I M I N I M I _____		
Denominazione storica: _____		
Datazione: anno _____ secolo 18 epoca _____ Ultima trasformazione _____		
Proprietà: C U R I A _____		_____
Utilizzatore: _____		_____

Figura 4.12 – Scheda per il rilievo dei danni ai beni culturali – oratorio di san Giuseppe dei Minimi, pagina 1.

A₆ – DESTINAZIONE D'USO ATTUALE

Uso	Utilizzazione temporale			Affollamento
	Continuo	Saltuario	Non utilizzato	
Cattedrale / Duomo <input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
Chiesa parrocchiale <input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
Oratorio <input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
Santuario <input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
Museo <input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
Auditorium <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Servizi <input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
Altro <input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>

A₇ – CARATTERISTICHE DEL SITO

In piano Su rilievo / su cresta / su vetta Su riporto In pendio / su versante Avvallamento

A₈ – CONTESTO URBANO E POSIZIONE

Centro urbano Periferia urbana Area industriale - commerciale Area agricola Centro storico

Isolata Connessa con altri edifici su 2 lati Altro

A₉ – INFRASTRUTTURE

Accesso pedonale <input checked="" type="radio"/>	Rete viaria idonea in relazione al rischio <input type="checkbox"/>
Accesso carrabile <input checked="" type="radio"/>	Parcheggio nelle vicinanze <input checked="" type="checkbox"/>
Accesso con altezza inferiore a 4 metri <input type="radio"/>	Spazi aperti a disposizione <input checked="" type="checkbox"/>
Accesso con mezzi pesanti <input type="radio"/>	Altro <input type="checkbox"/>

A₁₀ – PRESENZA DI RISCHIO

		RILEVAZIONE DIRETTA	INFORMAZIONI ACQUISITE
Insedimento minacciato da frana	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Insedimento in zona alluvionabile	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Insedimento soggetto a minacce di tipo industriale	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Insedimento soggetto ad altre minacce naturali	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

A₁₁ – TIPOLOGIA DEI BENI ARTISTICI PRESENTI

TIPOLOGIA	Num.	superficie	TIPOLOGIA	Num.	superficie
Affreschi <input type="checkbox"/>	<u> </u>	<u> </u>	Dipinti mobili su vario supporto <input type="checkbox"/>	<u> </u>	<u> </u>
Mosaici <input type="checkbox"/>	<u> </u>	<u> </u>	Arredi (soffitti, amboni, pulpito, stalli corali) <input type="checkbox"/>	<u> </u>	<u> </u>
Stucchi <input type="checkbox"/>	<u> </u>	<u> </u>	Decorazioni plastiche mobili <input type="checkbox"/>	<u> </u>	<u> </u>
Arazzi <input type="checkbox"/>	<u> </u>	<u> </u>	Manufatti in carta e pergamena <input type="checkbox"/>	<u> </u>	<u> </u>
Altari / statue <input type="checkbox"/>	<u> </u>	<u> </u>	Reperti archeologici <input type="checkbox"/>	<u> </u>	<u> </u>
Libri / Stampe <input type="checkbox"/>	<u> </u>	<u> </u>	Altri <input type="checkbox"/>	<u> </u>	<u> </u>

A₁₂ – DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA - Realizzata da MUNARI MARCO SI NO

A₁₃ – COMPILATORE SCHEDA

Cognome MUNARI Nome MARCO

Ente/ufficio di appartenenza UNIVERSITA' DI PADOVA

☎ 3492891600 E-Mail: marco.munari@unipd.it

Figura 4.13 – Scheda per il rilievo dei danni ai beni culturali – oratorio di san Giuseppe dei Minimi, pagina 2.

MODELLO A - DC

Seconda sezione

A₁₄ - RIFERIMENTO SCHEDA DELLA VULNERABILITÀ DELLE CHIESE

N° Scheda	_____	Data	____/____/____	Ente	_____
-----------	-------	------	----------------	------	-------

A₁₅ - STATO DI MANUTENZIONE GENERALE

Buono	<input checked="" type="radio"/>	Discreto	<input type="radio"/>	Scadente	<input type="radio"/>	Pessimo	<input type="radio"/>	In corso lavori	<input type="checkbox"/>		
Eventuali precedenti lesioni esistenti		NO	<input checked="" type="radio"/>	SI	<input type="radio"/>	Limitate	<input type="radio"/>	Estese	<input type="radio"/>	Gravi	<input type="radio"/>

A₁₆ - DANNO SISMICO (Abaco dei meccanismi di collasso delle chiese)

LIVELLO DI DANNO

0 - □□□□ assenza di danno 1 - ■□□□ danno lieve 2 - ■■□□ danno moderato
 3 - ■■■□□ danno grave 4 - ■■■■□ danno molto grave 5 - ■■■■■ crollo

IDENTIFICAZIONE DEL DANNO

danno sismico
 danno pregresso
 aggravamento

1	RIBALTAMENTO DELLA FACCIATA	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	DISTACCO DELLA FACCIATA DALLE PARETI O EVIDENTI FUORI PIOMBO	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
2	MECCANISMI NELLA SOMMITÀ DELLA FACCIATA	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	RIBALTAMENTO DEL TIMPANO, CON LESIONE ORIZZONTALE O A V - DISGREGAZIONE DELLA MURATURA O SCORRIMENTO DEL CORDOLO - ROTAZIONE DELLE CAPRIATE	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
3	MECCANISMI NEL PIANO DELLA FACCIATA	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	LESIONI INCLINATE (TAGLIO) - LESIONI VERTICALI O ARCUATE (ROTAZIONE) - ALTRE FESSURAZIONI O SPANCIAMENTI	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
4	PROTIRO - NARTECE	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NEGLI ARCHI O NELLA TRABEAZIONE PER ROTAZIONE DELLE COLONNE - DISTACCO DALLA FACCIATA - MARTELLAMENTO	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
5	RISPOSTA TRASVERSALE DELL'AULA	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	LESIONI NEGLI ARCONI (CON EVENTUALE PROSECUZIONE NELLA VOLTA) - ROTAZIONI DELLE PARETI LATERALI - LESIONI A TAGLIO NELLE VOLTE - FUORI PIOMBO E SCHIACCIAMENTO NELLE COLONNE	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
6	MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI LATERALI (RISPOSTA LONGITUDINALE)	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	LESIONI INCLINATE (SINGOLE O INCROCIATE) - LESIONI IN CORRISPONDENZA DI DISCONTINUITÀ NELLA MURATURA	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
7	RISPOSTA LONGITUDINALE DEL COLONNATO NELLE CHIESE A PIÙ NAVATE	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NEGLI ARCHI O NEGLI ARCHITRAVI LONGITUDINALI - SCHIACCIAMENTO E/O LESIONI ALLA BASE DEI PIASTRI - LESIONI A TAGLIO NELLE VOLTE DELLE NAVATE LATERALI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
8	VOLTE DELLA NAVATA CENTRALE	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NELLE VOLTE DELL'AULA CENTRALE - SCONNESSIONI DELLE VOLTE DAGLI ARCONI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
9	VOLTE DELLE NAVATE LATERALI	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NELLE VOLTE O SCONNESSIONI DAGLI ARCONI O DALLE PARETI LATERALI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
10	RIBALTAMENTO DELLE PARETI DI ESTREMITÀ DEL TRANSETTO	<input type="checkbox"/>
danno	DISTACCO DELLA PARETE FRONTALE DALLE PARETI LATERALI - RIBALTAMENTO O DISGREGAZIONI DEL TIMPANO IN SOMMITÀ	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
11	MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI LATERALI DEL TRANSETTO	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI INCLINATE (SINGOLE O INCROCIATE) - LESIONI ATTRAVERSO DISCONTINUITÀ	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
12	VOLTE DEL TRANSETTO	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NELLE VOLTE O SCONNESSIONI DAGLI ARCONI E DALLE PARETI LATERALI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
13	ARCHI TRIONFALI	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NELL'ARCO - SCORRIMENTO DI CONCI - SCHIACCIAMENTO O LESIONI ORIZZONTALI ALLA BASE DEI PIEDRITTI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Figura 4.14 - Scheda per il rilievo dei danni ai beni culturali - oratorio di san Giuseppe dei Minimi, pagina 3.

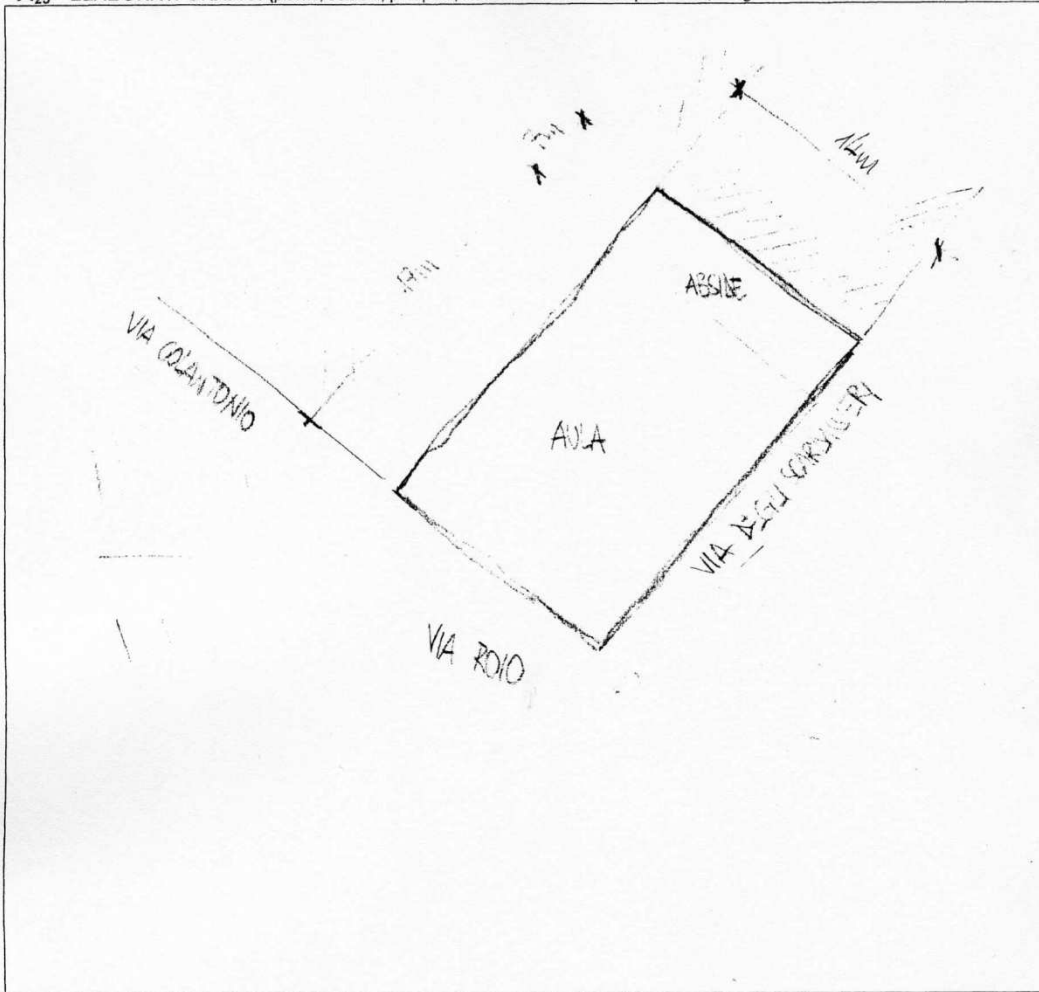
14	CUPOLA – TAMBURO/TIBURIO	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NELLA CUPOLA (AD ARCO) CON EVENTUALE PROSECUZIONE NEL TAMBURO	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
15	LANTERNA	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NEL CUPOLINO DELLA LANTERNA – ROTAZIONI O SCORRIMENTI DEI PIEDRITTI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
16	RIBALTAMENTO DELL'ABSIDE	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	LESIONI VERTICALI O ARCUATE NELLE PARETI DELL'ABSIDE – LESIONI VERTICALI NEGLI ABSIDI POLIGONALI – LESIONE AD U NEGLI ABSIDI SEMICIRCOLARI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
17	MECCANISMI DI TAGLIO NEL PRESBITERIO O NELL'ABSIDE	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	LESIONI INCLINATE (SINGOLE O INCROCIATE) – LESIONI IN CORRISPONDENZA DI DISCONTINUITÀ MURARIE	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
18	VOLTE DEL PRESBITERIO O DELL'ABSIDE	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	LESIONI NELLE VOLTE O SCONNESSIONI DAGLI ARCONI O DALLE PARETI LATERALI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
19	MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA – PARETI LATERALI DELL'AULA	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	LESIONI VICINE ALLE TESTE DELLE TRAVI LIGNEE, SCORRIMENTO DELLE STESSE – SCONNESSIONI TRA CORDOLI E MURATURA – MOVIMENTI SIGNIFICATIVI DEL MANTO DI COPERTURA	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
20	MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA – TRANSETTO	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI VICINE ALLE TESTE DELLE TRAVI LIGNEE, SCORRIMENTO DELLE STESSE – SCONNESSIONI TRA I CORDOLI E MURATURA – MOVIMENTI SIGNIFICATIVI DEL MANTO DI COPERTURA	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
21	MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA – ABSIDE E PRESBITERIO	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	LESIONI VICINE ALLE TESTE DELLE TRAVI LIGNEE, SCORRIMENTO DELLE STESSE – SCONNESSIONI TRA I CORDOLI E MURATURA – MOVIMENTI SIGNIFICATIVI DEL MANTO DI COPERTURA	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
22	RIBALTAMENTO DELLE CAPPELLE	<input type="checkbox"/>
danno	DISTACCO DELLA PARETE FRONTALE DALLE PARETI LATERALI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
23	MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI DELLE CAPPELLE	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI INCLINATE (SINGOLE O INCROCIATE) – LESIONI IN CORRISPONDENZA DI DISCONTINUITÀ MURARIE	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
24	VOLTE DELLE CAPPELLE	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NELLE VOLTE O SCONNESSIONI DALLE PARETI LATERALI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
25	INTERAZIONI IN PROSSIMITÀ DI IRREGOLARITÀ PLANO-ALTIMETRICHE (CORPI ADIACENTI, ARCHI RAMPANTI)	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	MOVIMENTO IN CORRISPONDENZA DI DISCONTINUITÀ COSTRUTTIVE - LESIONI NELLA MURATURA PER MARTELLAMENTO	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
26	AGGETTI (VELA, GUGLIE, PINNACOLI, STATUE)	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	EVIDENZA DI ROTAZIONI PERMANENTI O SCORRIMENTO – LESIONI	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
27	TORRE CAMPANARIA	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI VICINO ALLO STACCO DAL CORPO DELLA CHIESA – LESIONI A TAGLIO O SCORRIMENTO – LESIONI VERTICALI O ARCUATE (ESPULSIONE DI UNO O PIÙ ANGOLI)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
28	CELLA CAMPANARIA	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NEGLI ARCHI – ROTAZIONI O SCORRIMENTI DEI PIEDRITTI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

A₁₇ - INDICE DI DANNO

$n = 12$ (numero dei meccanismi possibili) $d = 9$ (punteggio totale di danno) $i_d = d / 5n = 0,2$

Figura 4.15 – Scheda per il rilievo dei danni ai beni culturali – oratorio di san Giuseppe dei Minimi, pagina 4.

A₂₅ - ELABORATI GRAFICI (pianche, sezioni, prospetti, illustrazione di dissesti particolari, allegare eventualmente fotocopie)



A₂₆ - DOCUMENTAZIONE ALLEGATA

SI NO

.....

.....

.....

A₂₇ - SQUADRA CHE HA ESEGUITO IL RILIEVO

SISMA		C.O.M.	SQUADRA N.
<i>Componenti della squadra</i>			
Cognome e nome	Qualifica	Ente appartenenza	Firma
MUNARI MARCO	ING.	UNIPD-DCT	<i>[Signature]</i>
GARBIN ENRICO	ING.	UNIPD-DCT	<i>[Signature]</i>
FANTOZZI CARLO FIORE	GEOM.	SBAU	<i>[Signature]</i>
CASAGLIA ENNIO	GEOM.	SBAU	<i>[Signature]</i>
FARINOSI PIETRO	ARCH.	BAP-APRUZZO	<i>[Signature]</i>

Modello A-DC PCM-DPC MiBAC 2006 pubblicato nella G.U. n. 55 del 6.3.2006

Figura 4.18 – Scheda per il rilievo dei danni ai beni culturali – oratorio di san Giuseppe dei Minimi, pagina 7.

c_Le chiese aquilane: elementi di vulnerabilità e di presidio antisismico

Il rilievo del danno alle chiese in Abruzzo ha sostanzialmente confermato l'applicabilità e l'efficacia del metodo prima descritto. Sono stati rilevati danni ad oltre 800 chiese, il 38% delle quali è stato dichiarato inagibile. La percentuale di inagibilità non è elevata, sia perché i rilievi sono stati effettuati anche nei comuni meno colpiti dal sisma, ma anche perché questo approccio per meccanismi consente di evitare atteggiamenti eccessivamente cautelativi in quanto viene valutata l'effettiva pericolosità del meccanismo rispetto il collasso.

Ovviamente alcune caratteristiche specifiche del costruito aquilano sono risultate determinanti per la comprensione del quadro complessivo di danneggiamento. Molte chiese sono di origine medievale e si presentano, dal punto di vista tipologico, a semplice navata con la tipica facciata rettangolare. Un elemento essenziale per comprendere la vulnerabilità delle chiese e, più in generale, del costruito aquilano è il terremoto distruttivo del 1703, che ha colpito l'Aquila con intensità e dinamiche molto simili a quello recentemente avvenuto. Quasi tutte le chiese furono seriamente danneggiate e ciò portò in alcuni casi a semplici riparazioni e rinforzi, mentre in altri ci furono parziali ricostruzioni con contestuali importanti ampliamenti e modifiche dell'organismo strutturale legate anche allo stile architettonico dell'epoca. Altre chiese invece furono totalmente riedificate.

Questi fattori rivestono una notevole importanza sulla vulnerabilità, per la presenza di soluzioni di continuità sulla tessitura muraria (in presenza di ampliamenti), sopraelevazioni (con possibili disassamenti tra le murature), integrazioni di parti crollate (raramente ben ammortate).

Per contro, le successive edificazioni beneficiano in una sapienza costruttiva antisismica, sempre riscontrabile in un territorio appena colpito da un forte evento sismico e in genere conservata dai costruttori di alcune generazioni. In particolare all'Aquila è stata adottata la tecnica del "radicamento ligneo", consistente nell'inserimento di elementi lignei orizzontali, posti in asse alla muratura in fase costruttiva, collegati alle estremità a piatti metallici (fissati con due chiodi) ed ancora all'esterno della muratura attraverso piccoli paletti in ferro. Tale soluzione deriva certamente dalla constatazione, a seguito del terremoto del 1703, che i primi meccanismi di collasso sono quelli di ribaltamento fuori dal piano²⁶. Esiste quindi la necessità di collegare bene ciascuna parete a quelle ad esse ortogonali, attivando la loro resistenza nel piano (i meccanismi che si attiveranno in questa fase saranno tipicamente caratterizzati da lesioni inclinate). L'ammorsamento murario nei cantonali e nei martelli non è in genere sufficiente, anche per le caratteristiche della muratura aquilana, non necessariamente di scadente qualità ma caratterizzata da elementi lapidei di dimensioni medio-piccole aventi forma irregolare e poco allungata. Rispetto alle classiche catene metalliche, presenti anche all'Aquila ma come interventi di ripartizione e di rinforzo, l'ancoraggio che si realizza con il "radicamento ligneo" non è concentrato alle estremità ma è diffuso, grazie alla forza di attrito che si sviluppa lungo tutto l'elemento ligneo inserito nella muratura;



Figura 4.19 - Esempio di "radicamento" all'Aquila: cerchiature lignee a diversi livelli nella cupola della chiesa di S. Maria del Suffragio.

²⁶ A. Giuffrè, *Lettura sulla meccanica delle murature storiche*, edizioni Kappa, Roma, 1998.

questa è la ragione per la quale i paletti esterni sono sempre molto più piccoli, il punto debole rimane comunque il collegamento con i due chiodi tra il piatto in ferro ed il travetto in legno.

Nell'intendimento dei costruttori dell'epoca il "radicamento" aveva probabilmente anche un'altra pretesa: fornire un presidio nei riguardi di meccanismi flessionali fuori dal piano, quelli che si attivano nelle porzioni centrali delle facciate, quando i muri di spina sono diradati e la parete è indebolita dalla presenza di aperture.



Figura 4.20 - Esempio di "radicamento" all'Aquila: paletto ligneo di ancoraggio delle capriate della chiesa di S. Maria del Carmine.

Anche le coperture presentano elementi chiaramente concepiti dalla volontà di aggiungere presidi antisismici alla costruzione. Le estremità delle capriate o dei puntoni di falda non sono semplicemente appoggiate sulle pareti ma collegate ad una tavola lignea che sporge all'esterno, fissandole alla parete con un paletto ligneo.

Un importante elemento di vulnerabilità è chiaramente rappresentato dal degrado, che ad esempio, può far venir meno questi elementi di presidio. Infiltrazioni di acqua attraverso le lesioni pregresse o per carenze di manutenzione della copertura hanno in molti casi accelerato il degrado di questi elementi lignei, specie all'estremità, in corrispondenza dell'ancoraggio al piatto metallico.



Figura 4.21 - La moderna copertura latero-cementizia della chiesa di S. Maria Paganica: capriate in travetti prefabbricati tipo "Varese"

Infine, anche nelle chiese aquilane si è constatata la vulnerabilità indotta dal cattivo comportamento dei moderni interventi di consolidamento strutturale –si fa riferimento a quegli interventi che nel secolo scorso hanno fatto uso delle moderne tecniche costruttive, in particolare del cemento armato e dell'acciaio-. Coperture lignee, leggere e relativamente flessibili, sono in molti casi state sostituite da pesanti e rigide solette in calcestruzzo o latero-cementizie, con effetti quasi sempre negativi sul piano strutturale.

d_Indicazione dei meccanismi di collasso contenute nelle schede per il rilievo dei danni della chiesa di San Biagio Amiternum e dell'Oratorio di San Giuseppe dei Minimi.

d.1_Meccanismo di ribaltamento della facciata

La facciata costituisce quasi sempre uno degli elementi più vulnerabili della chiesa, spesso soggetto a meccanismi di ribaltamento fuori dal piano a tutta altezza (come è accaduto nel fronte dell'Oratorio di San Giuseppe dei Minimi) o limitati alla porzione sommitale –timpano- della facciata stessa (episodio verificatosi nella facciata della chiesa di San Biagio Amiternum).

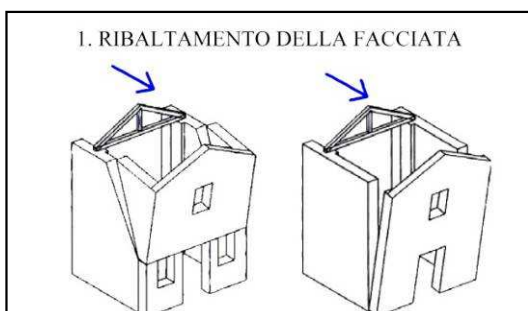


Figura 4.22 - Meccanismo n°1 – ribaltamento della facciata- tratto dall'abaco dei meccanismi di collasso.

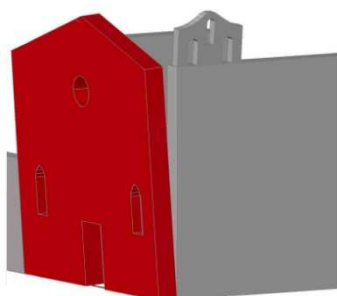


Figura 4.23 - Schematizzazione del meccanismo di ribaltamento della facciata dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi.

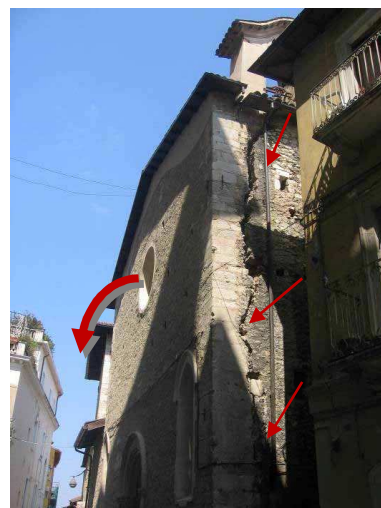


Figura 4.24 - Innesco del meccanismo di ribaltamento della facciata dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi.



Figura 4.25 – Fessurazione lungo il collegamento tra la facciata e il muro longitudinale di sinistra.



Figura 4.26 – Lesioni sull'imposta della volta principale dovute al distacco della facciata.

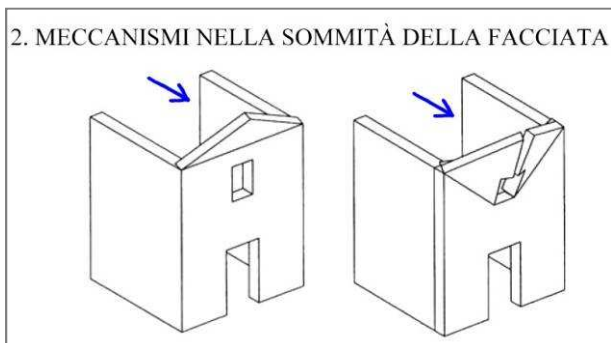


Figura 4.27 - Meccanismo n°2 – ribaltamento della sommità della facciata- tratto dall'abaco dei meccanismi di collasso.

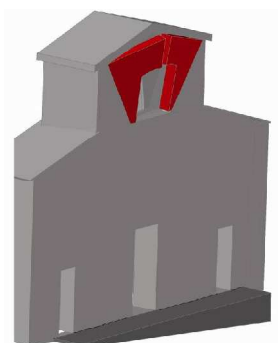


Figura 4.28 - Schematizzazione del meccanismo di ribaltamento della porzione sommitale della facciata della chiesa di san Biagio.

La facciata è quasi sempre vincolata ai muri laterali con “radicamenti” lignei e la copertura costituisce un ulteriore vincolo, attraverso travi di colmo e le terzere. Lo spostamento indotto dal terremoto si concentra quindi nell’unica porzione non vincolata, con frequenti casi di crollo o di disarticolazione dei conci lapidei che costituiscono il paramento murario della facciata stessa.



Figura 4.29 – Il fronte di san Biagio prima del crollo



Figura 4.30 - Collasso della porzione sommitale della facciata nella chiesa di san Biagio.



Figura 4.31 – Fessure nella parete longitudinale in prossimità del margine sinistro del timpano.



Figura 4.32 – Fessura al margine destro del timpano.



Figura 4.33 – Interno della chiesa di san Biagio prima del crollo.



Figura 4.34 – Interno della chiesa di san Biagio dopo il crollo della parte sommitale della facciata.



Figure 4.35/4.36 – Collasso interno della sommità della facciata.

d.2_Meccanismo di danneggiamento della vela campanaria



Figura 4.37 - Innesco del meccanismo di ribaltamento della vela campanaria.

Anche questo elemento risulta essere tra i macroelementi più vulnerabili all'interno di una chiesa. Tale elemento è costituito da un sistema arco-piedritto che ha mostrato la formazione di cerniere plastiche alla base dei piedritti. Tali fenomeni si manifestano anche in presenza di bassi valori della componente orizzontale dell'azione sismica. A questo si aggiunge il fatto che l'azione sismica applicata a tale struttura non è quella che si verifica a livello del terreno ma risulta fortemente amplificata dalla fabbrica sulla quale poggia ad una quota discretamente elevata²⁷.

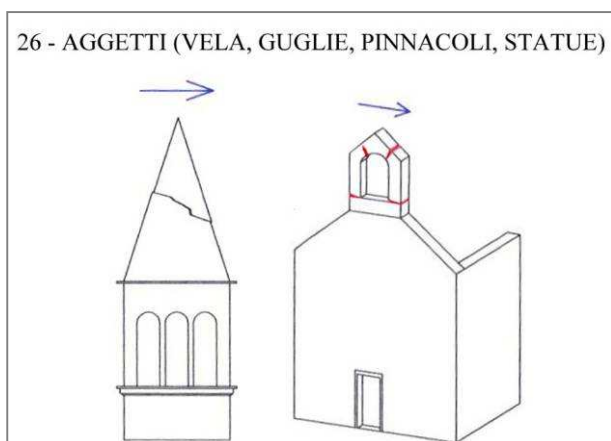


Figura 4.38 – Meccanismo n°26 –aggetti- tratto dall'abaco dei meccanismi di collasso.

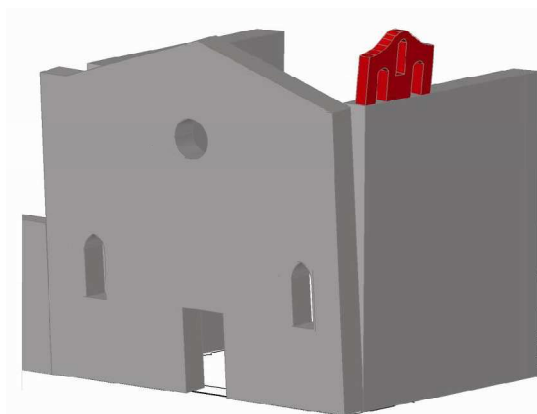


Figura 4.39 - Meccanismo bilaterale attivatosi nella vela campanaria.

Proprio a causa della loro vulnerabilità, i danni si presentano frequentemente in queste strutture. La soluzione per limitarli sarebbe quella di assecondare gli spostamenti, garantendo duttilità, facendo in modo che questi spostamenti possano manifestarsi senza provocare perdita di equilibrio o collasso locale di materiale.

d.3_Meccanismo di danneggiamento del colonnato

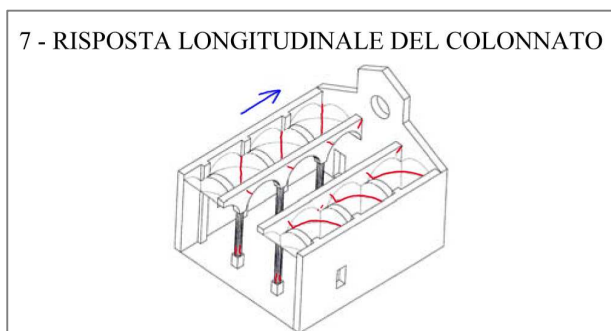


Figura 4.40 – Meccanismo n°7 –risposta longitudinale del colonnato- - tratto dall'abaco dei meccanismi di collasso.



Figura 4.41 – Fessurazioni alla base dei pilastri.

²⁷ Cfr. Sapienza Università di Roma, *Chiesa di San Giuseppe dei Minimi: analisi dei danni causati dal terremoto del 6 Aprile 2009 al patrimonio culturale*, 30 Giugno 2009, pp. 32-34.

A seguito di una attenta analisi effettuata all'interno dell'edificio, atta a verificare la presenza di fessure e di quale natura esse fossero, si sono riscontrate numerose lesioni, prevalentemente verticali, collocate alla base dei pilastri. Il loro spessore variava da larghezze inferiori al millimetro fino a fratture contenute nell'ordine del centimetro²⁸.

Si è ipotizzato che la struttura sia stata soggetta ad un moto in direzione longitudinale²⁹, rientrando nella casistica dei collassi già studiati in passato e contenuti nelle schede delle linee guida.

d.4_Meccanismo di taglio nelle pareti laterali (risposta longitudinale)

L'ipotesi del movimento longitudinale della struttura trova conferma dall'analisi delle fessurazioni situate sulle murature laterali della navata centrale, al di sopra del sistema di arcate. Tali fenditure presentano andamento inclinato, caratteristico dell'azione di taglio³⁰.



Figura 4.42– Meccanismo n°6 –meccanismi di taglio nelle pareti laterali- tratto dall'abaco dei meccanismi di collasso.

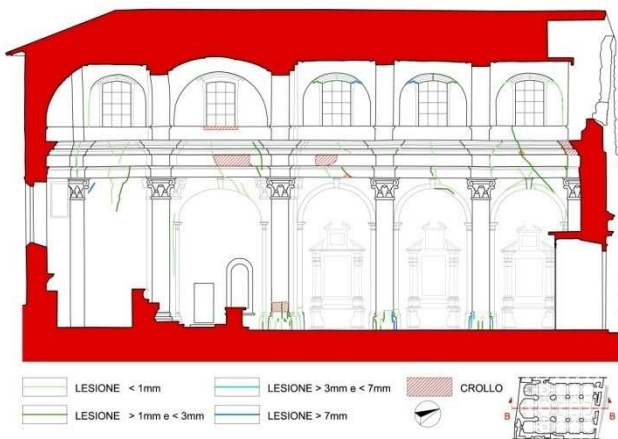


Figura 4.43 – Quadro Fessurativo: sezione B-B

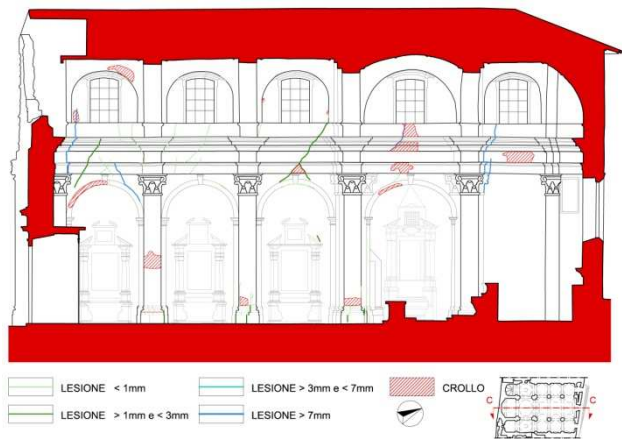


Figura 4.44 – Quadro Fessurativo: sezione C-C'

²⁸ Per maggiori informazioni si rimanda alle tavole allegate del "rilievo del quadro fessurativo" e "analisi dei danni contenuti nei pilastri".

²⁹ Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione interpretativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila*, Milano, Giugno 2010, pag 10.

³⁰ Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione interpretativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila*, Milano, Giugno 2010, pag 10.



Figura 4.45 – Fessurazione della prima arcata di sinistra della parete della navata principale.



Figura 4.46– Fessurazione della quarta arcata di sinistra della parete della navata principale.

d.5_Sollecitazione in direzione trasversale

Si ritiene importante rilevare che le strutture della chiesa hanno subito intense sollecitazioni anche in direzione trasversale nonostante l'azione di confinamento esercitata sulla chiesa stessa dall'edificio circostante. A conferma di questo si ritrovano alcuni fenomeni fessurativi nelle paraste e nelle murature perimetrali delle navate laterali in cui si possono osservare lesioni orizzontali e la sconnessione di porzioni di rivestimento delle pareti dei muri perimetrali in pietra³¹.



Figura 4.47 – Scorrimento trasversale della prima arcata sul lato sinistro.

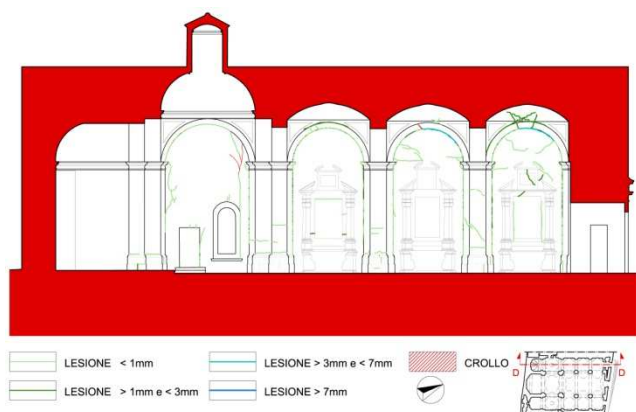


Figura 4.48 – Quadro fessurativo – sezione D-D.

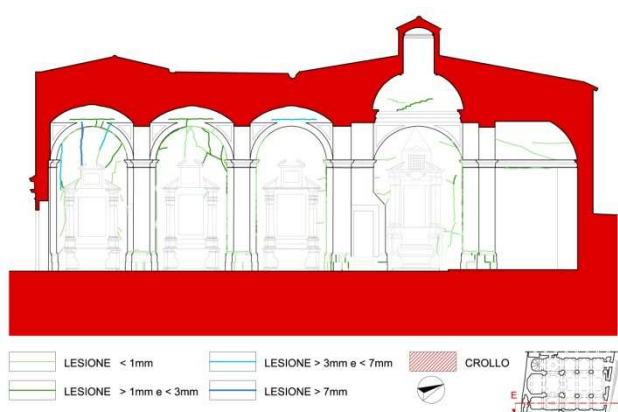


Figura 4.49 – Quadro fessurativo – sezione E-E.

³¹ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione interpretativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila"*, Milano, Giugno 2010, pag 10.

d-6_Meccanismo di danneggiamento delle volte delle navate laterali

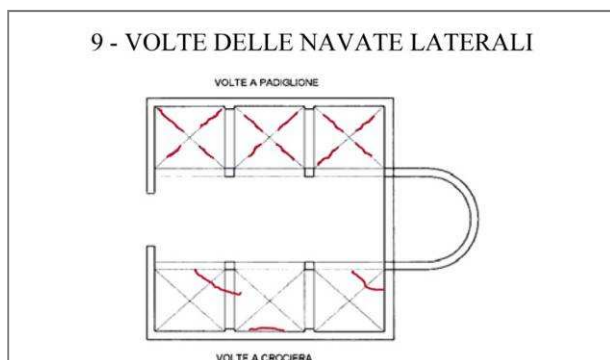


Figura 4.50 – Meccanismo n°9 –volte delle navate laterali- tratto dall’abaco dei meccanismi di collasso.

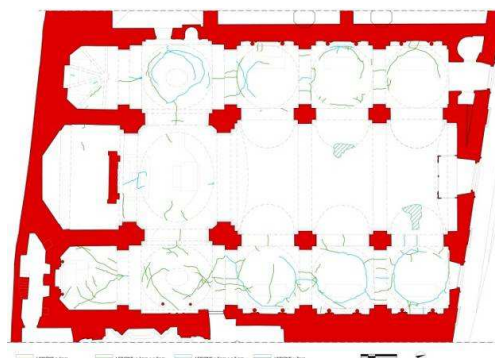


Figura 4.51 – Quadro fessurativo delle cupolette ribassate delle navate laterali.

Anche le volte ribassate delle navate laterali sono caratterizzate dalla presenza di fessurazioni evidenti dovute alla sommatoria dei meccanismi di sollecitazione longitudinale e trasversale sopracitati. Tali lesioni si sono sviluppate con andamento tendenzialmente circolare e presuppongono una rottura dei giunti di malta, che tenevano collegati tra loro i laterizi, causata dall’azione di taglio³².



Figura 4.52 – Lesioni nelle cupolette della navata laterale di destra, viste verso la facciata.



Figura 4.53 – Lesioni nelle cupolette della navata laterale di sinistra, viste verso la facciata.



Figura 4.54 - Fessurazione circolare nelle volte delle navate laterali.

³² Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione interpretativa al contratto di ricerca “prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L’Aquila*, Milano, Giugno 2010, pag 9.

BIBLIOGRAFIA:

- F. Augelli, *La diagnosi delle opere e delle strutture lignee. Le ispezioni*, Il Prato, Firenze, 2006.
- A. Bellini, *Tecniche della conservazione*, Franco Angeli, Milano, 2007.
- A. Bellini, *La pura contemplazione non appartiene all'architettura*, tratto da: "TeMa", n°2, 1998.
- A. Bellini, *A proposito di alcuni equivoci sulla conservazione*, tratto da: "TeMa", n°1, 1996.
- A. Canziani, *Conservazione dell'Architettura, Conservazione programmata del patrimonio architettonico del XX secolo*, Electa edizioni, Firenze, 2009.
- G. Carbonara, *Trattato di restauro architettonico vol. I*, UTET, Torino, 2008.
- G. Carbonara, *Trattato di restauro architettonico vol. III*, UTET, Torino, 2008.
- G. M. Crisci, C. Gattuso (a cura di), *Archeometria del costruito, l'edificato storico: materiali, strutture e rischio sismico*, Edipuglia, Bari, 2006.
- S. Della Torre, *Colore o spessore in Il colore nell'edilizia storica*, Gangemi, Roma, 2000.
- C. Feiffer, *Il progetto di conservazione*, Franco Angeli, Milano, 2007.
- A. Giuffrè, *Lettura sulla meccanica delle murature storiche*, edizioni Kappa, Roma, 1998.
- Ministero per i Beni e le Attività Culturali, *Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*, Gangemi Editore, Roma, 2005.
- Presidenza del Consiglio dei Ministri Dipartimento della Protezione Civile, Ministero per i Beni e le Attività Culturali Dipartimento per i Beni Culturali e Paesaggistici, *Linee guida per l'applicazione al patrimonio culturale della normativa tecnica P.C.M. 3274/2003*.
- C. R. Romeo, *L'approccio metodologico al progetto di restauro attraverso l'analisi di tre casi studio*, Gruppo editoriale Faenza editrice s.p.a., Faenza, 2005.

SITOGRAFIA:

- <http://www.archivi.beniculturali.it>
- <http://www.beniculturali.it>
- <http://www.culturaebeni.it>
- <http://www.gndt.ingv.it>
- <http://www.liguria.beniculturali.it>
- <http://www.vallecamoniacultura.it>
- <http://www.protezionecivile.it>



CAPITOLO 5

Prove in sito per la caratterizzazione delle strutture portanti.

Le esperienze di intervento sulle strutture murarie realizzate negli ultimi decenni, soprattutto in zona sismica, hanno evidenziato la necessità di valutare la situazione di degrado di una struttura e dei materiali che la compongono, prima di procedere con qualsiasi intervento¹.

Le prime ipotesi interpretative sulle cause di danno devono basarsi su iniziali ispezioni visive, che si approfondiscono con il rilievo geometrico, comprensivo di rilievo topografico e longimetrico, il rilievo del quadro fessurativo, il rilievo materico e la mappatura delle tipologie di degrado superficiale. A queste si accompagnano le informazioni storiche e geognostiche che permettono di avere un quadro globale dell'edificio.

Infine, per la formulazione di una diagnosi sul comportamento meccanico della struttura è necessario procedere alla caratterizzazione dei materiali e degli elementi strutturali. Si ricercheranno informazioni sui vincoli o interazioni fra gli elementi strutturali e si applicheranno tecniche diagnostiche per ottenere informazioni sulle proprietà delle strutture e dei materiali che le compongono².

L'indagine conoscitiva deve essere finalizzata alla valutazione dei parametri che governano la deformabilità della struttura e la sua resistenza. Non vi è alcuna procedura che, da sola, consenta al progettista di ottenere tutti i dati necessari per pervenire ad un progetto di intervento, ma è necessario utilizzare più tecniche contemporaneamente incrociando poi i dati ottenuti a verifica e supporto l'uno dell'altro.

È opportuno che il progettista conosca le possibili procedure diagnostiche, in modo approfondito, e predisponga un progetto di indagini tenendo conto di potenzialità e difetti di tutte le tecniche, ottenendo di conseguenza nel migliore dei modi, i risultati e le informazioni voluti, avendo fatto riferimento a costi, applicabilità, tempi ed elaborazioni possibili.

Per determinare l'efficienza statica di una struttura muraria, anche in vista di una valutazione della vulnerabilità sismica, è opportuno svolgere un'indagine conoscitiva sulla storia dei carichi della struttura, sulle sue condizioni statiche e sui suoi materiali. Tale ricerca deve essere finalizzata alla definizione dello schema strutturale dei carichi e dei pesi propri, dati indispensabili per l'analisi statica, al controllo delle eventuali evoluzioni che la geometria della struttura potrebbe avere subito nel tempo e delle loro cause, oltre che alla conoscenza delle sue caratteristiche meccaniche che, nel caso di antiche strutture murarie in pietra come quelle oggetto del presente studio, non possono essere direttamente correlate a quelle dei singoli componenti.

¹ Cfr. L. Binda, A. Saisi, A. Anzani, C. Tiraboschi, *Progetto di indagini per la diagnosi e metodi per il controllo dell'intervento*, corso di specializzazione per architetti, ingegneri e geometri "progettare il restauro", Padova, Aprile-Giugno 1999.

² Cfr. L. Binda, A. Saisi, A. Anzani, C. Tiraboschi, *Progetto di indagini per la diagnosi e metodi per il controllo dell'intervento*, corso di specializzazione per architetti, ingegneri e geometri "progettare il restauro", Padova, Aprile-Giugno 1999.

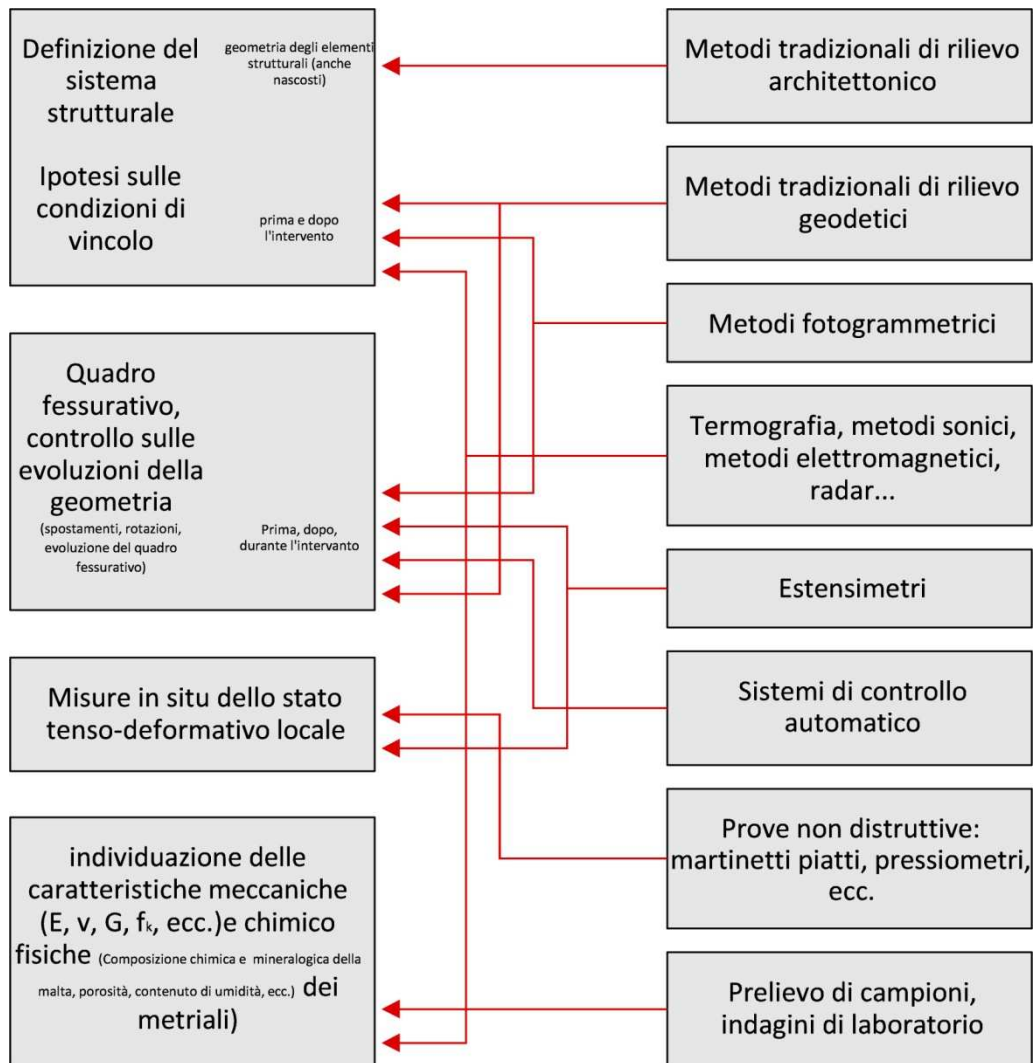


Grafico 5.1 – Tecniche di diagnosi, tratto da S. Pesenti (a cura di), *Il progetto di conservazione: linee metodologiche per le analisi preliminari, l'intervento, il controllo di efficacia*

La muratura è un materiale composito, caratterizzato da non omogeneità ed anisotropia, caratterizzabile conoscendone le caratteristiche meccaniche, la morfologia della sezione resistente e le sue caratteristiche intrinseche, (disomogeneità, vuoti, presenza di strati, e connessioni fra essi) e la tecnica costruttiva.

Si deve quindi studiare la muratura nel suo complesso, e negli edifici storici si può procedere in due modi:

- Campionando prismi di muratura, da provare in laboratorio;
- Caratterizzando in situ la muratura.

Poiché non è quasi mai praticabile il prelievo di campioni significativi, l'esecuzione di prove in situ rimane l'unica valida strategia per verificare le proprietà delle strutture.

Tre sono le componenti di sforzo a cui può essere soggetta una muratura; precisamente sono Taglio, Trazione e Compressione, in relazione alle principali azioni sopportate dall'edificio.

Riguardo alle caratteristiche di resistenza alle diverse azioni ed alle prove possibili in situ possono essere fatte le seguenti considerazioni:

- La resistenza di aderenza a trazione non può essere determinata da prove dirette³, la sola prova realizzabile in situ è quella di aderenza per flessione (*Bond wrench test*⁴) che può essere applicata solo in sommità a pareti in muratura di mattoni;
- La resistenza di aderenza a taglio può essere determinata in situ utilizzando un piccolo martinetto messo in verticale. In realtà si trova la resistenza di aderenza a taglio tra malta e mattone. Anche questa prova può essere però applicata solo in caso di muratura con giunti ed elementi regolari⁵;
- Lo stato di sforzo e il comportamento tenso-deformativo a compressione possono essere determinati rispettivamente con singolo e doppio martinetto⁶.

Tra le prove in situ, quella con i martinetti piatti è certamente la più interessante per i risultati a cui perviene. A questa tipologia di prova si affiancano regolarmente indagini di tipo non distruttivo⁷.

Per riuscire a valutare le murature della chiesa di san Biagio, oggetto dello studio, sono state eseguite indagini diagnostiche di diverso tipo, sia in sito che in laboratorio.

In questo capitolo si vogliono descrivere le indagini effettuate in situ, riportando una premessa sui principi generali di ciascuna prova, gli strumenti utilizzati e le modalità di esecuzione mentre nel successivo capitolo verranno mostrati, commentati e confrontati i risultati ottenuti.

Sui paramenti indagati sono state effettuate:

- *Prove termografiche* in modo da identificare la tessitura muraria ed individuare eventuali anomalie interne ai paramenti;
- *Prove soniche* per trasparenza aventi lo scopo di caratterizzare qualitativamente la muratura;
- *Prove radar* in modo da indagare murature e orizzontamenti per individuare eventuali anomalie;
- *Tomografie* soniche e radar per l'indagine delle sezioni murarie;
- *Carotaggi* per consentire l'esecuzione di video endoscopie e prelevare materiale da analizzare successivamente in laboratorio;
- *Endoscopie* in modo da verificare la morfologia delle sezioni murarie;
- *Videoendoscopie* in modo da individuare ed indagare i materiali che compongono internamente ed in profondità le murature;
- *Ispezioni della sezione* muraria in modo da verificare l'ammorsamento tra gli elementi che compongono la muratura;
- *Prove con martinetti* piatti singoli e doppi per conoscere lo stato di sforzo locale e il comportamento tenso-deformativo delle murature.

³ Cfr. L. Binda, C. Tirabiscchi, *La prova con i martinetti piatti: una tecnica leggermente distruttiva per la diagnosi di strutture in muratura di pietra e mattoni*, in "l'Edilizia", n°3-4 Marzo-Aprile anno XIV, De Lettera Editore, Milano, 1999.

⁴ Rilem 76 Lum B3, 1990

⁵ Cfr. L. Binda, C. Tirabiscchi, *La prova con i martinetti piatti: una tecnica leggermente distruttiva per la diagnosi di strutture in muratura di pietra e mattoni*, in "l'Edilizia", n°3-4 Marzo-Aprile anno XIV, De Lettera Editore, Milano, 1999.

⁶ Cfr. L. Binda, C. Tirabiscchi, *La prova con i martinetti piatti: una tecnica leggermente distruttiva per la diagnosi di strutture in muratura di pietra e mattoni*, in "l'Edilizia", n°3-4 Marzo-Aprile anno XIV, De Lettera Editore, Milano, 1999.

⁷ Cfr. L. Binda, L. Cantini, C. Tirabiscchi, *Caratterizzazione e classificazione di murature storiche in zona sismica mediante prova con martinetti piatti*, XI Congresso Nazionale "L'Ingegneria Sismica in Italia", Genova, 25-29 Gennaio 2004.

a_ Verifica del rilievo e del quadro fessurativo.

Un rilievo geometrico preliminare è essenziale nelle operazioni diagnostiche, in quanto fornisce i dettagli strutturali ed identifica elementi su cui eventualmente concentrare indagini più accurate.

Seguendo le tracce generali del primo rilievo fornitoci, l'indagine è stata condotta in forma più raffinata localmente, controllando irregolarità, deviazioni della verticalità o rotazioni.

Questa fase è stata accompagnata contemporaneamente da un'analisi dell'evoluzione della struttura⁸ in modo da giustificare eventuali discontinuità, disomogeneità o particolari danneggiamenti osservati sulla struttura. L'analisi storica è importantissima in quanto è in grado di fornire notizie generali o di dettaglio sull'intero edificio per comprenderne le trasformazioni che possono avere alterato la struttura originale.

Il rilievo del quadro fessurativo, eseguito successivamente a quello geometrico, è di fondamentale importanza per l'identificazione dell'assetto strutturale dell'edificio. Infatti l'interpretazione delle lesioni può permettere la comprensione dello stato di danno della struttura, ma anche le sue possibili cause e può condizionare la scelta del tipo di indagine da eseguire successivamente e la localizzazione delle prove da eseguire.

Gli stati di danno possono essere studiati in base all'andamento delle fessure.

I dettagli geometrici di alcuni elementi strutturali possono essere rilevati con tecniche innovative, piuttosto raffinate, data la loro complessità e le difficoltà interpretative con le procedure tradizionali. La fotogrammetria, per esempio, può essere di grande aiuto nella definizione della geometria di archi e volte.⁹

Si rimanda alle tavole allegante n° 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11 per la visione del rilievo geometrico e del quadro fessurativo condotti.

b_ Studio della morfologia dell'apparecchio murario.

b.1_prove termografiche

La termografia a raggi infrarossi è una tecnica che sfrutta l'energia infrarossa emessa spontaneamente da qualsiasi corpo od oggetto; avvalendosi di una strumentazione portatile costituita essenzialmente da una telecamera (termocamera) e da una centralina di rilevazione, rappresenta una metodologia speditiva e non invasiva per localizzare e apprezzare qualitativamente la consistenza dell'umidità presente nelle strutture interne degli edifici. Il suo utilizzo può anche essere esteso anche all'osservazione dei materiali costituenti i paramenti murari, alla loro struttura interna (tamponamenti, distacchi, riempimenti..) e alle discontinuità presenti.

L'impiego della termografia può risultare molto utile nel campo della diagnostica. È possibile rilevare la morfologia di murature intonacate o affrescate, dove non è evidentemente possibile l'utilizzo di

⁸ Riportata all'interno del capitolo 3

⁹ Cfr. L. Binda, A. Saisi, A. Anzani, C. Tiraboschi, *Progetto di indagini per la diagnosi e metodi per il controllo dell'intervento*, corso di specializzazione per architetti, ingegneri e geometri "progettare il restauro", Padova, Aprile-Giugno 1999.

tecniche che prevedano il contatto superficiale o il prelievo di campioni. Altri campi di indagine possono essere¹⁰:

- L'individuazione di vuoti o cavità all'interno delle murature;
- L'individuazione di inclusioni di differenti materiali;
- La tessitura del paramento murario;
- L'indagine di strutture evidenziandone eventuali anomalie e modifiche;
- Verificare la presenza di umidità;
- Rilevare la presenza di impianti per il riscaldamento, elettrici, fognari, idrici, tubazioni di vario tipo...

Principi generali

La termografia è una tecnica non distruttiva che opera utilizzando la banda delle radiazioni infrarosse. Ogni materiale emette energia sotto forma di radiazioni elettromagnetiche, in quanto caratterizzato da una propria conducibilità termica, e da un proprio calore specifico. Ogni elemento o strato che caratterizza una muratura, una volta riscaldato, è caratterizzato da temperature differenti in base alla conducibilità e al calore specifico di ogni singolo componente.

L'analisi termografica può essere condotta in modo passivo, analizzando cicli termici naturali (insolazione e successivo raffreddamento), ed in modo attivo, scaldando artificialmente la superficie da analizzare.

La termografia rileva e suddivide le radiazioni infrarosse emesse spontaneamente dai singoli punti di un corpo caldo, in un certo istante; il rilevamento viene registrato da una speciale apparecchiatura che fornisce un'immagine termica dell'oggetto attraverso scale di colori o di grigi. Ad ogni colore o tono della scala di grigi corrisponde un intervallo di temperatura che generalmente è nell'ordine di frazioni di grado centigrado.

Il flusso totale di energia E , emesso da una superficie, è la somma dell'energia E_c emessa dalla superficie dell'oggetto per eccitazione termica e del flusso di energia E_r che proviene dall'emissione delle superfici circostanti e che viene a sua volta dispersa nell'ambiente:

$$E = E_c + E_r$$

Le apparecchiature all'infrarosso misurano il flusso di energia E a distanza, senza alcun contatto fisico con la superficie esaminata. Questa caratteristica rende la termografia una tecnica d'indagine particolarmente poco invasiva.

Modalità di prova

Nel caso specifico è stata utilizzata una termocamera modello Avio TVS-500 (Figura). Le prove sono state condotte con riscaldamento attivo delle superfici da esaminare mediante sistema combinato composto da un termoconvettore alimentato a GPL e una lampada ad infrarosso da 1.5 Kw (Figura).

¹⁰ Cfr. L. Binda, A. Saisi, A. Anzani, C. Tiraboschi, *Progetto di indagini per la diagnosi e metodi per il controllo dell'intervento*, corso di specializzazione per architetti, ingegneri e geometri "progettare il restauro", Padova, Aprile-Giugno 1999.



Figura 5.1 - Termocamera Avio TVS-500.



Figura 5.2 - Termoconvettore a GPL e lampada ad infrarosso da 1.5 Kw.

Dopo aver scaldato la superficie da esaminare per circa 2 ore, i dispositivi per riscaldare sono stati spenti e la prova è stata condotta tramite frequenti acquisizioni di immagini termografiche durante il successivo periodo di raffreddamento delle aree inquadrature. In virtù del differente coefficiente di conducibilità termica posseduto dai materiali che compongono gli strati più esterni della muratura, le temperature cedute verso l'ambiente da pietre, laterizi e giunti di malta hanno permesso di riconoscere l'apparecchio murario celato da circa 4 cm di intonaco.

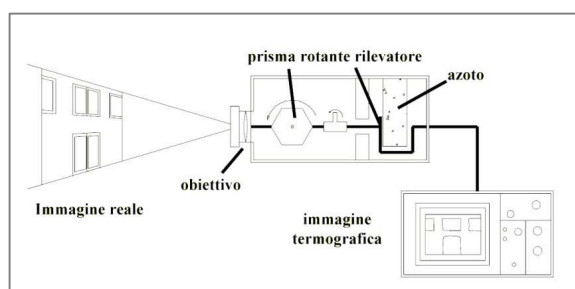


Figura 5.3 - Schematizzazione della strumentazione per indagini termografiche.



Figura 5.4 - Esecuzione della prova termografica sulla volta in camorcanna.



Figura 5.5 - Esecuzione della prova termografica su un pilastro.

Limiti e problematiche

In presenza di umidità l'indagine evidenzia le aree superficiali più fredde, dove si manifesta una evaporazione continua. Tale evaporazione viene provocata dalla differenza di umidità relativa tra la muratura e le condizioni ambientali.

Nella diagnosi di antichi manufatti, in assenza di una adeguata sollecitazione termica, la termovisione presenta maggiori potenzialità nell'analisi degli strati più superficiali. Le difficoltà si incontrano, invece, nella lettura in profondità in quanto vi è scarsa penetrazione termica all'interno della struttura. Inoltre,

le discontinuità superficiali contribuiscono a distorcere e a filtrare la propagazione del calore verso le zone più profonde.

Questa tecnica è sensibile alle condizioni al contorno allo svolgimento della prova, come l'umidità o la presenza di diverse remissività locali.

L'interpretazione dei dati è molto accurata in quanto si dispone di appositi programmi di elaborazione. I metodi messi a punto sono ormai dotati di un'alta risoluzione termica e spaziale. Tuttavia è sempre necessario calibrare l'algoritmo matematico per ogni singola applicazione e quindi per ogni singolo materiale.

b.2_prove soniche

Le prove soniche costituiscono un metodo di indagine che permette di ottenere indicazioni sulla densità e sullo stato di danno di un solido costituito da materiale omogeneo. Originariamente, infatti, questo metodo è stato pensato per i metalli, poi usato in geologia per lo studio delle rocce e successivamente è stato impiegato anche per lo studio delle strutture in cemento armato. Oggi il campo di applicazione di questa tecnica di indagine risulta ulteriormente ampliato in quanto le indagini soniche vengono ormai sempre più frequentemente adottate nell'analisi delle murature di edifici storici per la valutazione delle disomogeneità e per l'individuazione di fessurazioni e disgregazioni nei paramenti murari attraverso l'analisi delle velocità di propagazione di un'onda elastica nel mezzo indagato.

Tali indicazioni consentono una valutazione qualitativa delle murature ed i loro principali vantaggi sono i seguenti:

- Sono indagini non distruttive, pertanto possono essere utilizzate su monumenti storici ed artistici senza ledere l'integrità della muratura analizzata¹¹;
- Utilizzano procedure ed attrezzature semplici (un sistema di emissione dell'onda elastica, un sistema di ricezione ed uno per la raccolta dei dati e successiva elaborazione) con costi contenuti e tempi di esecuzione brevi rispetto all'impiego di altre indagini;
- Permettono di indagare ampie zone di muratura poiché, pur fornendo risultati puntuali, si possono estendere ad un sistema di punti che individua un'area vasta, contrariamente alle indagini più o meno distruttive il cui utilizzo è limitato ad alcuni punti localizzati (endoscopie, carotaggi e prelievi di materiale) o a zone limitate (martinetti piatti singoli e doppi)¹².

Principi generali

Le indagini soniche, come già anticipato, si basano sulla emissione per percussione di onde elastiche longitudinali (dette anche di compressione) e trasversali (di taglio) attraverso un mezzo materiale di dimensioni note e sul calcolo del tempo impiegato dall'onda per attraversare l'elemento in oggetto.

Da questi semplici dati, spessore e tempo, è immediato il calcolo della *velocità media di propagazione dell'onda elastica* V ($V = \frac{\text{Spessore}}{\text{Tempo}}$) che in un mezzo solido, perfettamente elastico, omogeneo ed isotropo è correlabile alle caratteristiche elastiche del mezzo analizzato secondo la relazione:

¹¹ In un'analisi operata dal Dipartimento di Ingegneria Strutturale del Politecnico di Milano sullo stato di conservazione di una parete dell'Accademia di Belle Arti di Brera – Milano caratterizzata dalla presenza di una sinopia del Foppa, sono state utilizzate prevalentemente indagini soniche proprio perché costituiscono un metodo garante dell'integrità della muratura.

¹² Cfr. L. Binda, A. Saisi, A. Anzani, C. Tiraboschi, *Progetto di indagini per la diagnosi e metodi per il controllo dell'intervento*, corso di specializzazione per architetti, ingegneri e geometri "progettare il restauro", Padova, Aprile-Giugno 1999.

$$V = \sqrt{\left(\frac{E_d}{\rho}\right)}$$

Dove :

V= velocità di propagazione dell'onda [m/s]

E_d = modulo di elasticità dinamico o di Young [N/mm²]

ρ = densità del materiale [Kg/m³]

Conoscendo i valori di velocità delle onde longitudinali V_l e trasversali V_t si possono calcolare le costanti elastiche del mezzo:

$$E_d = V_l^2 \cdot \rho \cdot \frac{(1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu)}{(1 - \nu)}$$

Con coefficiente di Poisson $\nu = \frac{1}{2} \cdot \frac{\left(\frac{V_l}{V_t}\right)^2 - 2}{\left(\frac{V_l}{V_t}\right) - 1}$

Nelle condizioni sopracitate (mezzo omogeneo con comportamento perfettamente elastico ed isotropo), come nel caso di analisi svolte su elementi d'acciaio, con buona approssimazione il modulo elastico dinamico E_d corrisponde al modulo elastico determinato Sperimentalmente¹³.

Nel caso di indagini su elementi eterogenei, come le murature, il valore di E_d si discosta da quello del modulo elastico determinato con prove di compressione monoassiale (metodo dei martinetti piatti doppi o anche in laboratorio) proprio in funzione del grado di disomogeneità tipico dei paramenti il cui comportamento dipende dal tipo di materiale, dalla tessitura muraria e dalla presenza e dalle dimensioni dei giunti di malta. Per questi motivi le informazioni fornite dall'indagine sonica applicata ai paramenti murari possono essere prese in considerazione unicamente dal punto di vista qualitativo.

Dallo studio delle variazioni della velocità sonica nei diversi punti di una muratura si possono individuare le variazioni di densità interne; infatti la velocità di propagazione di una onda elastica decresce con il diminuire della densità del mezzo attraversato ed è minima nell'aria. Nei punti dove ci sono fessurazioni l'impulso sonico incontra dei vuoti in presenza dei quali l'onda rallenta e viene rifratta allungando così il percorso tra sensore sorgente e ricevente e quindi il tempo di percorrenza. Nei punti in cui la velocità decresce notevolmente si può ipotizzare la presenza di vuoti, lesioni o fratture della muratura.

MATERIALE		VELOCITA' DI PROPAGAZIONE in m/s
Solidi	Ferro e acciaio	5950
	Rocce argillose	3480
	Gomma	1550-1850
Liquidi (a 25°C)	Acqua marina	1521
	Acqua distillata	1496
Gas (a 26°C e 1 atm)	Aria atmosferica (secca)	342

Tabella 5.1 – Velocità soniche in differenti materiali.

¹³ Cfr G. Baronio, L. Binda, F. Scirocco, *Controlli non distruttivi per la determinazione delle caratteristiche dei laterizi*, in "Atti del 15° Congresso ANDL", 1980, pp 95-108.

Nella diagnosi delle murature le indagini soniche sono frequentemente usate proprio per individuare e localizzare difetti e fessurazioni della sezione muraria ma anche con funzione di controllo dell'efficacia di interventi di consolidamento (ad esempio l'iniezione di miscele di varia origine in eventuali vuoti dà luogo ad un aumento della densità).

Il grado di risoluzione della prova sonica dipende dalla lunghezza dell'onda λ e dalla frequenza dominante: minore è la lunghezza d'onda e maggiore sarà la precisione nell'individuazione della dimensione del difetto riconoscibile.

La lunghezza d'onda λ è però legata alla velocità di propagazione V e alla frequenza f attraverso la relazione:

$$\lambda = \frac{V}{f}$$

Pertanto, per una data velocità, ad un incremento della frequenza corrisponde una diminuzione della lunghezza d'onda, ossia un miglioramento della risoluzione della prova; per contro, all'aumentare della frequenza diminuisce l'energia sonora, quindi il segnale si attenua e si riduce la profondità della sezione muraria investigabile.

La frequenza ottimale deve perciò essere scelta valutando sia il livello di risoluzione che si vuole ottenere sia lo spessore del paramento sul quale si sta investigando. In seguito alle varie sperimentazioni effettuate per lo studio di murature si è riscontrato che i risultati migliori si ottengono usando suoni a bassa frequenza attorno a 5000 Hz¹⁴.

Modalità di prova

La strumentazione di prova per le indagini soniche si compone di tre sistemi:

- Uno di emissione dell'onda elastica (trasduttore o martello strumentato);
- Uno di ricezione dell'onda (accelerometro);
- Uno di acquisizione e memorizzazione dei dati (oscilloscopio e PC).



Figura 5.6 – Martello strumentato e amplificatore di segnale.



Figura 5.7 – PC per l'acquisizione e memorizzazione dei dati.

¹⁴ Cfr G. Baronio, L. Binda, F. Scirocco, *Controlli non distruttivi per la determinazione delle caratteristiche dei laterizi*, in "Atti del 15° Congresso ANDL", 1980, pp 95-108.

Prima di iniziare l'esecuzione della prova è necessario scegliere i punti su cui effettuare la lettura della velocità di propagazione. Si predispone quindi una maglia regolare di punti da riportare sulla muratura. Su questi punti verranno posizionate di volta in volta le stazioni di emissione e ricezione.

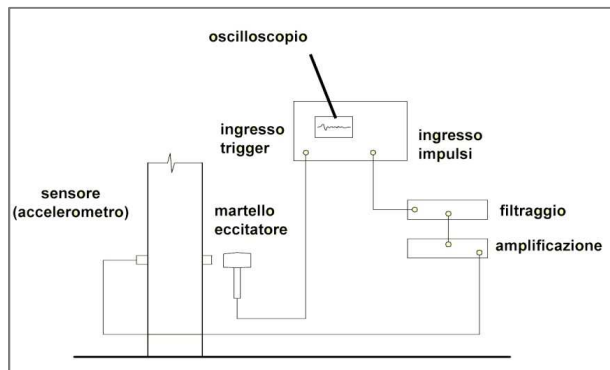


Figura 5.8 – Schema dell'apparecchiatura per indagini soniche.

L'impulso da trasmettere alla muratura viene generato da un martello strumentato, collegato tramite un amplificatore ad un oscilloscopio che regola l'intensità dell'onda elastica. Il martello viene battuto sul punto di prova, l'onda prodotta si propaga nel paramento e viene ricevuta da un accelerometro posizionato su un altro punto della superficie muraria.

Anche l'accelerometro è collegato tramite amplificatore all'oscilloscopio (sostituito da una scheda per l'acquisizione dati dedicata, prodotta dalla National Instruments, integrata nel PC), che costituisce il sistema di acquisizione dei dati.



Figura 5.9 – Esecuzione di una prova sonica.

Tale sistema di acquisizione registra l'onda generata dal martello e quella pervenuta all'accelerometro e ne visualizza sullo schermo i segnali che vengono infine memorizzati dal personal computer.

Conoscendo la distanza tra le due stazioni di prova (emittente e ricevente) e l'intervallo di tempo trascorso tra l'inizio della propagazione del suono nella muratura e il momento in cui l'onda raggiunge l'accelerometro, si calcola la velocità impiegata dall'onda ad attraversare la porzione di muratura in oggetto.

L'intervallo del tempo suddetto si individua facilmente con l'uso di un software che permette di rappresentare le onde sonore prodotte dal martello strumentato prima di battere sulla superficie muraria da quelle prodotte dopo la percussione.

Per migliorare il contatto tra gli strumenti, martello ed accelerometro, e la muratura si possono usare delle piastrine metalliche attaccate alla superficie muraria con dei collanti particolari e, per ottenere dei risultati più attendibili, è utile, ove possibile, rimuovere l'eventuale intonaco dalla superficie muraria poiché la velocità di propagazione dell'onda verrebbe influenzata anche dalla presenza dell'intonaco stesso (materiale poroso) e dallo stato di adesione dell'intonaco stesso che, nel caso di rigonfiamenti tra l'intonaco ed il supporto, renderebbe più difficile l'interpretazione dei dati.

In base alla disposizione dei due sistemi di emissione e ricezione del segnale si possono ottenere differenti modalità di esecuzione della prova:

- **Prove soniche per trasparenza:** i due punti, di emissione e ricezione, sono posti su due lati opposti della muratura, alla medesima altezza dal suolo ed in modo che la loro congiungente sia

perpendicolare alle superfici. Si rilevano in tal modo le discontinuità e le cavità interne al paramento.

- **Prove soniche di superficie:** le due stazioni di prova si trovano sul medesimo lato del muro. L'accelerometro viene tenuto fisso su di un punto mentre il martello si sposta battendo su tutti i punti che si trovano alla sua stessa altezza. Questo tipo di prova permette di indagare lo strato superficiale del paramento; la velocità del segnale è influenzata dalla presenza di fessurazioni superficiali o passanti.
- **Prove soniche radiali:** l'indagine è svolta su due facce tra loro perpendicolari della muratura. Tale prova è meno sensibile di quelle precedenti ma consente di verificare la presenza di discontinuità negli ammorsamenti tra due paramenti.

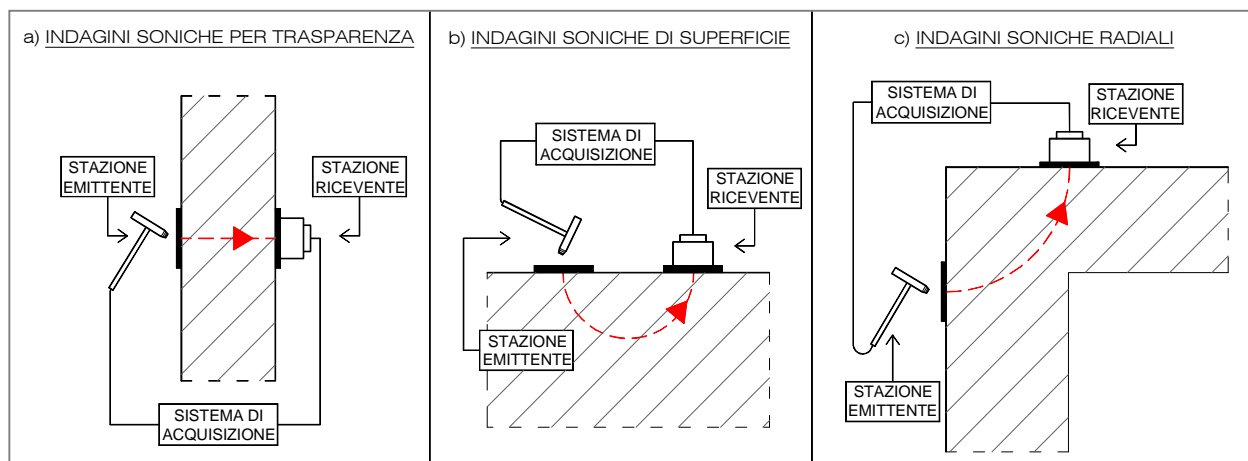


Figura 5.10 – Schemi esplicativi delle principali modalità di prova utilizzate nelle indagini soniche.

Le indagini soniche sono state condotte utilizzando la seguente attrezzatura:

- un trasmettitore (martello strumentato Dytran – modello 5801A5) per la generazione dell'impulso;
- un ricevitore (accelerometro Bruel & Kjaer - modello 4370) per la ricezione dell'impulso;
- un Personal Computer portatile per l'acquisizione dei segnali mediante scheda National Instruments dedicata.

Tutte le prove sono state eseguite per trasparenza, secondo maglie regolari di 36 punti (6 righe e 6 colonne con punti distanti tra loro 15 cm).

Per ogni prova si riporta:

- una tabella con indicazioni relative alla quota di prova, riferita alla riga superiore della griglia, con i valori di velocità ottenuti e istogrammi di velocità relativi ad ogni punto della griglia;
- fotografia della tessitura muraria con sovrapposizione della griglia di prova;
- grafico di superficie relativo alla prova sonica. Questo grafico associa dei valori di velocità sonica a tutta l'area interessata dalla prova sonica sulla base di una interpolazione lineare dei valori calcolati in ogni punto di prova. In questo modo viene fornita una mappa delle velocità che mette in risalto le zone caratterizzate da maggiori discontinuità interne.

Limiti e problematiche

Il rispetto per i monumenti storici ha spinto i ricercatori ed i professionisti del settore a sperimentare metodi di indagine meno distruttivi possibili che fornissero risultati sullo stato di danno delle murature, attendibili dal punto di vista qualitativo e quantitativo.

Le indagini soniche sono apparse fin dall'inizio (anni '60) una alternativa rispetto all'impiego di tecniche di tipo distruttivo, ma le potenzialità di questo metodo sono ancora in fase di definizione.

Uno dei limiti principali di tale metodologia d'indagine, applicata ai materiali disomogenei come le murature, consiste nella difficoltosa interpretazione dei risultati che devono essere trattati come dati puramente qualitativi. Le caratteristiche dell'impulso che attraversa un mezzo materiale sono influenzate dalla densità, dall'omogeneità e dal suo comportamento elastico, ma come si è già detto precedentemente, non è possibile calcolare con precisione i parametri elastici di una muratura con prove soniche: il coefficiente elastico dinamico, trovato con metodo sonico, e quello statico, calcolato con prove di compressione, non corrispondono. Questo implica che alle prove soniche vengano affiancate altre prove per la determinazione dei parametri del comportamento elastico delle murature (es. martinetti piatti).

Inoltre, date le numerose variabili che influenzano la velocità sonica di prova, non è possibile una classificazione per tipologie murarie dello stato di danno in base ai valori di velocità riscontrati¹⁵.

b.3_Prove georadar

Le indagini radar costituiscono una tecnica sperimentale ancora in fase di sviluppo ma che presenta molteplici interessanti potenzialità: è infatti adatta a rilevare anomalie anche in murature di consistente spessore e presenza di umidità.

Le applicazioni del radar possono essere diverse ma le operazioni di indagine più importanti per cui si utilizza la procedura si possono sintetizzare in:

- Ricerca di elementi strutturali nascosti in murature portanti o orizzontamenti;
- Individuazione di tessiture murarie nascoste da intonaci o affreschi;
- Individuazione di difetti, fessure e vuoti, inclusioni di materiali diversi;
- Individuazione della morfologia della sezione di murature a più paramenti;
- Rilievo della presenza di umidità nelle murature¹⁶.

Principi generali

Il Ground Penetrating Radar, GPR, è un metodo elettromagnetico di prospezione geofisica simile alla sismica a riflessione in quanto metodo ecografico: raccoglie le riflessioni dei segnali trasmessi.

Un sistema GPR è formato *da antenne, trasmettitore, ricevitore, clock, registratore e display*.

Ogni discontinuità d'impedenza elettromagnetica genera una riflessione la cui intensità dipende dalle caratteristiche fisico-geometriche delle stesse e dalle caratteristiche elettromagnetiche del segnale.

¹⁵ Cfr L. Binda, A. Saisi, S. Valle, L. Zanzi, *Indagini soniche applicate alle murature in mattoni. Calibrazione ed individuazione di paramenti significativi*, in "Atti del V Congresso Nazionale ASS.I.R.C.CO", Orvieto, 1997.

¹⁶ Cfr. L. Binda, A. Saisi, A. Anzani, C. Tiraboschi, *Progetto di indagini per la diagnosi e metodi per il controllo dell'intervento*, corso di specializzazione per architetti, ingegneri e geometri "progettare il restauro", Padova, Aprile-Giugno 1999.

Il movimento di traslazione del radar permette di effettuare registrazioni ad intervalli regolari costruendo così un'immagine bidimensionale che rappresenta una sezione verticale del mezzo indagato. Queste immagini possono essere rappresentate in diversi sistemi di coordinate, generalmente l'asse orizzontale rappresenta la posizione o il numero della traccia registrata, l'asse verticale può rappresentare invece il tempo di propagazione o la profondità di penetrazione del segnale, le unità di misura più utilizzate sono i cm per le distanze e i nanosecondi per i tempi. Nel caso in cui il profilo radar illumini un bersaglio (cioè qualunque disomogeneità che crea un contrasto di impedenza elettromagnetica) di dimensioni paragonabili o inferiori alla lunghezza d'onda del segnale radar, il bersaglio genera una diffrazione che appare nella sezione radar come una curva dalla caratteristica forma iperbolica.

Le frequenze utilizzate nelle rilevazioni con il GPR vanno dalle decine di MHz a qualche GHz. Dalle frequenze dipendono la profondità di penetrazione del segnale e la risoluzione degli oggetti individuati. Più la frequenza è alta, maggiore è la risoluzione e minore la profondità raggiunta a causa della dipendenza del coefficiente di attenuazione dell'onda dalla frequenza.

La larghezza di banda degli impulsi trasmessi è pari al valore della frequenza di centro banda a cui si lavora. Se si utilizza ad esempio un radar a 1 GHz l'impulso ha una banda compresa tra 500 MHz e 1,5 GHz. Il segnale ricevuto e registrato viene campionato con un convertitore A/D in modo da avere a disposizione dati numerici che potranno essere elaborati tramite software dedicati a processing radar o sismico, oppure con software scritto "ad hoc" per elaborazioni personalizzate come in questo caso. Questa fase di trattamento dei dati numerici raccolti, detto comunemente processing, occupa una parte molto importante e dispendiosa di tutta un'operazione di rilevamento con il sistema GPR.

Per condurre le prove è stata utilizzata un'antenna schermata monopolare da 2GHz prodotta dalla società IDS. Sono state eseguite sia indagini 2D che 3D. Per queste ultime si è utilizzato un sistema di posizionamento PSG in PVC.

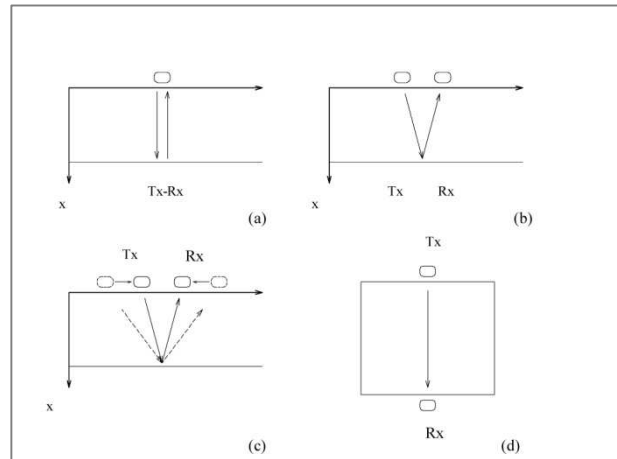


Figura 5.11 – Modalità di acquisizione

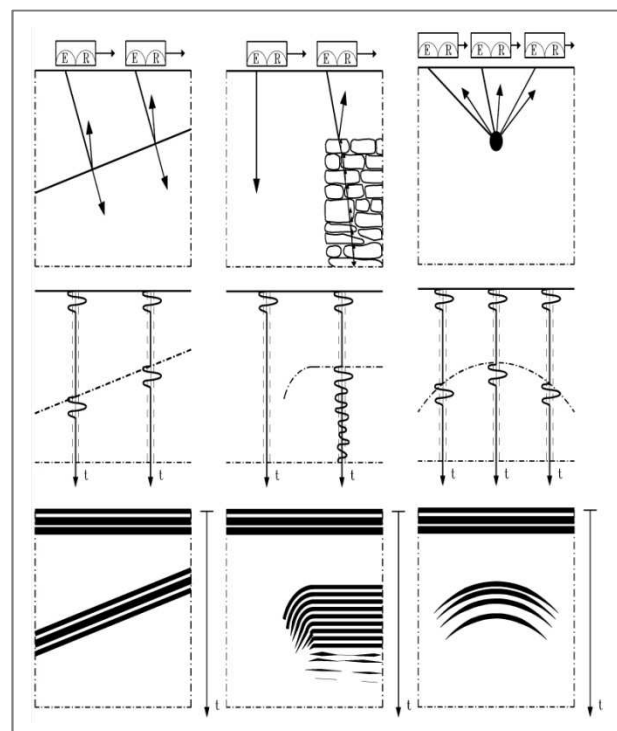


Figura 5.12 - Schemi di risultati di prove radar



Figura 5.13 – Antenna Radar.



Figura 5.14 – Indagini Radar 3D.



Figura 5.15 – Indagini Radar.

Modalita' di prova

Le prove radar necessitano sempre di una preliminare calibrazione per verificare le caratteristiche dell'antenna in relazione alle finalità della prova.

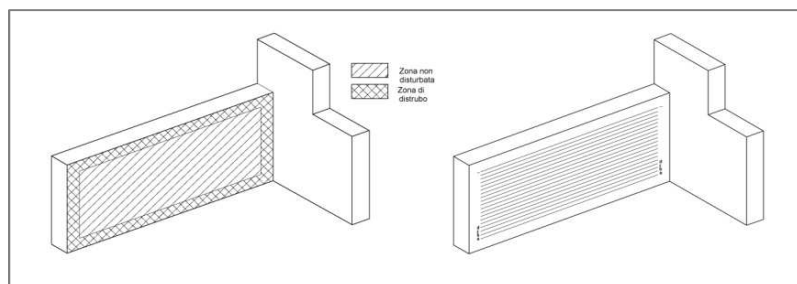


Figura 5.16 – Geometrie di acquisizione

Le zone da studiare devono essere scelte in modo da essere effettivamente rappresentative dello stato generale della muratura o della caratteristica che si vuole investigare. Inoltre è importante che si trovino lontane da spigoli, onde evitare riflessi locali ed effetti di bordo.

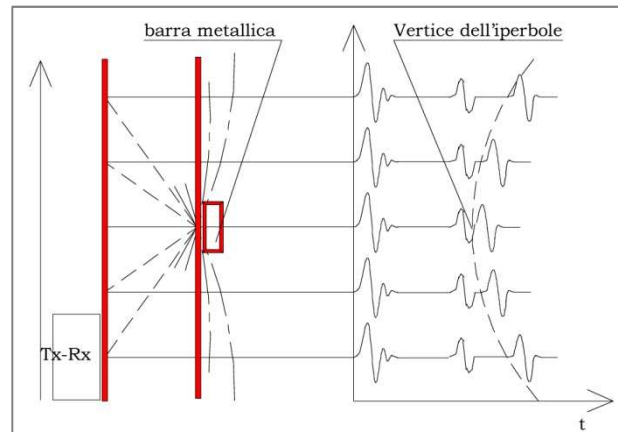
Esistono diverse geometrie di prova, da scegliersi in relazione all'accessibilità della muratura o alle motivazioni dell'indagine. Alcune tipologie, ad esempio per trasparenza, ossia disaccoppiando la parte ricevente ed emittente dell'antenna, sono utilizzate per particolari fini, come per successive elaborazioni tomografiche.

Le prove generalmente sono condotte in modalità eco, con ricevente ed emittente dalla medesima parte della muratura e muovendo l'antenna lungo la superficie.

Per effettuare la prova, il primo passo, ove possibile, è effettuare misure in trasparenza, ponendo la ricevente e la trasmittente nei due lati opposti della parete da investigare. In questo modo risulta possibile verificare se il segnale ha sufficiente potenza per attraversare tutta la sezione e misurare la velocità di trasmissione nel mezzo. La conoscenza della velocità di trasmissione permette una calibrazione diretta della scala spazio-temporale, essenziale nel caso di localizzazione di irregolarità o vuoti nella sezione muraria.

Alcune strumentazioni effettuano direttamente la trasformazione, scegliendo un valore della costante dielettrica del mezzo. Si tratta di un valore "medio" del materiale attraversato dall'onda elettromagnetica.

Un ulteriore controllo della capacità di attraversamento del segnale (metodo da noi eseguito) è effettuato ponendo una lastra di metallo sul lato opposto della parete rispetto alla trasmittente. Questa operazione verifica che il segnale emesso abbia sufficientemente energia per attraversare, e quindi indagare, lo spessore di una muratura. Si tratta di un controllo, indispensabile sia per la valutazione della velocità di trasmissione che per le successive elaborazioni.



Effettuata la calibrazione del segnale, si può quindi procedere direttamente con le misure. La procedura descritta è stata calibrata inizialmente in laboratorio, su campioni di muratura di geometria nota. Le indagini devono essere effettuate su 4-5 traiettorie parallele muovendo l'antenna ad una velocità costante e in linea retta.

L'operazione è da ripetersi ruotando l'antenna in diverse angolazioni. Infatti il segnale emesso è fortemente polarizzato. Con orientamenti diversi si riescono ad evidenziare, o al contrario attenuare, caratteristiche di volta in volta diverse.

L'elaborazione dei segnali è finalizzata:

- All'eliminazione dei disturbi diffusi;
- All'evidenziazione nelle sezioni radar di immagini riconoscibili.

Sui singoli segnali si operano filtri ed elaborazioni tradizionali, come la media nobile del segnale (filtro passa-basso), mediana nobile (filtro passa-alto), allineamento dei segnali.

Inoltre sono state applicate tecniche per evidenziare le caratteristiche della coda del segnale, che tende a smorzarsi, con tecniche di guadagno esponenziale. Per eliminare gli effetti di rifrazioni locali, fenomeni di ringing o echi laterali, si sono sviluppate tecniche basate sull'elaborazione di più sezioni radar, registrate a diverse altezze o con orientamenti dell'antenna diversi in 5-10 sezioni parallele distanti circa 5 cm, con antenna verticale, orizzontale e diagonale. Mediando le tracce corrispondenti, tali effetti si dovrebbero ridurre e al contrario dovrebbero essere esaltate tutte le maggiori caratteristiche comuni¹⁷.

Altre procedure sviluppate permettono di valutare le caratteristiche del segnale emesso dall'antenna attraverso la registrazione di un segnale trasmesso in aria. Tale segnale è poi sottratto da tutte le tracce. In questo modo anche l'effetto della prima componente può essere parzialmente rimosso, o comunque attenuato, permettendo una migliore definizione della sezione radar negli strati superficiali¹⁸.

¹⁷ Cfr. L. Binda, A. Saisi, A. Anzani, C. Tiraboschi, *Progetto di indagini per la diagnosi e metodi per il controllo dell'intervento*, corso di specializzazione per architetti, ingegneri e geometri "progettare il restauro", Padova, Aprile-Giugno 1999.

¹⁸ M. Lualdi, L. Zanzi, *Metodologie di acquisizione per un uso sistematico del georadar in modalità 3D*, Atti del workshop "sicurezza e conservazione degli edifici storici in funzione delle tipologie edilizie, della concezione costruttiva e dei materiali", Milano, 18-19 Dicembre 2006.

Limiti e problematiche

Data la disomogeneità, per la presenza di irregolarità strutturali, come carenze di materiale o presenze di giunti che comportano numerose riflessioni locali, le tracce sono caratterizzate da un rumore diffuso. Questo disturbo generalizzato, che può portare ad interpretazioni distorte dei dati, può essere in parte superato attraverso elaborazioni numeriche, sia a livello del singolo segnale che di intera sezione.

I principali problemi di interpretazione dei dati sono infatti causati da disturbi del segnale dovuti a:

- Effetti della prima componente. Questi effetti, quasi sempre presenti, nascondono le caratteristiche più esterne della struttura, interessando la prima parte del segnale. Sono causati dal disturbo tra parte ricevente ed emittente nell'antenna stessa, e dall'impatto dell'onda con la superficie muraria;
- Echi multipli dovuti ai numerosi cambi di materiale;
- Sovrapposizione di echi laterali che possono creare immagini di riflettori paralleli in realtà non esistenti; tale effetto può essere causato, per una muratura, dalla mancanza di malta e dalla regolarità del posizionamento dei blocchi.

Un primo sistema per ovviare al problema della prima componente è quello di effettuare registrazioni dai due lati della muratura. La posizione di eventuali anomalie è ricavata misurando il tempo impiegato da un impulso di energia elettromagnetica per giungere all'oggetto ed essere irradiato da quest'ultimo. Un altro metodo per evidenziare le caratteristiche più superficiali della muratura è quello di utilizzare contemporaneamente antenne di frequenza più alta.

Infatti è da sottolineare che, a seconda dello scopo dell'indagine, possono essere utilizzate antenne di diversa frequenza. In linea generale antenne ad alta frequenza rilevano la sezione muraria con un migliore dettaglio ma hanno lo svantaggio di presentare segnali con minore energia, spesso non sufficiente a raggiungere il fondo della muratura, e più disturbati da rifrazioni locali. Al contrario le antenne a bassa frequenza permettono di rilevare tutto lo spessore. Sono però più sensibili all'effetto della prima componente del segnale. Sono indicate generalmente antenne da 900 MHz per murature di un certo spessore, mentre antenne da 1 GHz rilevano murature sottili. In particolari condizioni, per esempio nel caso di murature molto spesse con presenza di umidità, possono essere utilizzate anche antenne da 500 MHz.

La scelta dell'antenna è fortemente condizionata da alcuni presupposti locali, come per esempio la presenza di umidità, le caratteristiche e lo spessore della muratura. Deve essere, quindi, effettuata di volta in volta una calibrazione preliminare in relazione alle finalità di ricerca. L'umidità ad esempio diminuisce la velocità e l'ampiezza dell'onda elettromagnetica. Naturalmente lo sviluppo di queste attrezzature è molto rapido per cui in futuro potrebbero essere proposte nuove frequenze.

b-4_Prove tomografiche soniche e radar

Si tratta di una raffinata tecnica di elaborazione di dati sonici o radar. È una tecnica di indagine non invasiva che consente la ricostruzione della distribuzione di un parametro fisico all'interno di un solido mediante misure in trasparenza effettuate tra le sue superfici esterne.

Recentemente sono state sviluppate e applicate numerose tecniche per l'elaborazione tomografiche; il principio di base è l'acquisizione di una maglia di dati (tempi di attraversamento degli impulsi sonici o

elettromagnetici) lungo una fitta rete di percorsi nel materiale, in modo da ricostruire una mappa dell'intera sezione analizzata.

Questa procedura, può fornire informazioni sulle variazioni delle caratteristiche elastiche o sulla eventuale presenza di lesioni o discontinuità legate a rifacimenti, tamponamenti e rinforzi.

Infatti la tomografia è in grado di riprodurre le caratteristiche interne di un oggetto sulla base di misure effettuate sul suo perimetro esterno. La tecnica computazionale utilizza una metodologia iterativa per elaborazione di una grande quantità di dati.

Nel caso specifico, i dati riguardano la velocità sonica, l'ampiezza dell'onda elettromagnetica o la sua velocità. Algoritmi di elaborazione più recenti considerano anche tecniche come la migrazione.

Ricostruzioni tomografiche sono molto utili per la diagnosi di elementi isolati, come i pilastri, e per la verifica di singole sezioni murarie.

Lo svantaggio è legato all'alto costo, in termini sia di tempi di acquisizione che di elaborazione dei dati. La scelta tra l'indagine sonica e radar è legata alle esigenze in termini di penetrazione e di frequenza del segnale. Valgono infatti le stesse problematiche di risoluzione, esposte in generale per le indagini soniche e radar¹⁹.

Tomografia sonica

La tomografia sonica è una ricostruzione della distribuzione delle velocità all'interno di una sezione. Si ottiene eseguendo numerose misure soniche che attraversano la medesima sezione con diverse angolazioni.

La strumentazione necessaria è quella utilizzata per le indagini soniche. Tuttavia per ridurre i tempi di acquisizione può essere conveniente un sistema di registrazione multicanale che raccolga simultaneamente i segnali che dal punto di energizzazione si sono propagati verso gli accelerometri disposti intorno al perimetro della sezione.

L'elaborazione dei dati consiste nella lettura del tempo di volo relativo ad ogni coppia sorgente-ricevitore e nella retro propagazione di questi tempi lungo i rispettivi percorsi attraverso l'inversione simultanea di un sistema di equazioni in cui le incognite sono i valori di velocità nelle celle in cui è stata scomposta la sezione.

Il parametro stimato, è come nelle indagini soniche, la velocità. Valgono pertanto le considerazioni già fatte a proposito delle indagini soniche. L'unica differenza è che mentre le indagini soniche forniscono un valore da intendersi come valore medio lungo l'intero percorso sorgente-ricevitore, la tomografia sonica fornisce una mappa di distribuzione del parametro stimato all'interno della sezione, scomposta in celle di dimensioni che dipendono dalla risoluzione dell'esperimento.

È pertanto possibile distinguere all'interno della sezione con velocità differenti e ricavare da queste interpretazioni più dettagliate sulla struttura interna della muratura. È possibile, ad esempio, riconoscere la presenza di cavità –segnalate da velocità prossime a 400 m/s- purché di dimensioni non

¹⁹ Cfr. L. Binda, A. Saisi, A. Anzani, C. Tiraboschi, *Progetto di indagini per la diagnosi e metodi per il controllo dell'intervento*, corso di specializzazione per architetti, ingegneri e geometri "progettare il restauro", Padova, Aprile-Giugno 1999.

inferiori alla risoluzione dell'esperimento, oppure distinguere zone di una muratura o di un pilastro realizzate con materiale diverso o con una tessitura differente.

La metodologia è generalmente applicabile purché si calibri correttamente la frequenza dell'esperimento. Per garantire un risultato affidabile la tomografia richiede che la sezione sia stata osservata con una copertura angolare sufficiente. Ciò può essere facilmente garantito nel caso di sezioni orizzontali e di pilastri accessibili da ogni lato. Nel caso di murature o di sezioni verticali di pilastri, l'accesso su due soli lati della sezione pone dei forti limiti alla copertura angolare e quindi riduce la risoluzione dell'esperimento, specialmente nelle aree della sezione adiacente ai lati non accessibili²⁰.

Tomografia radar

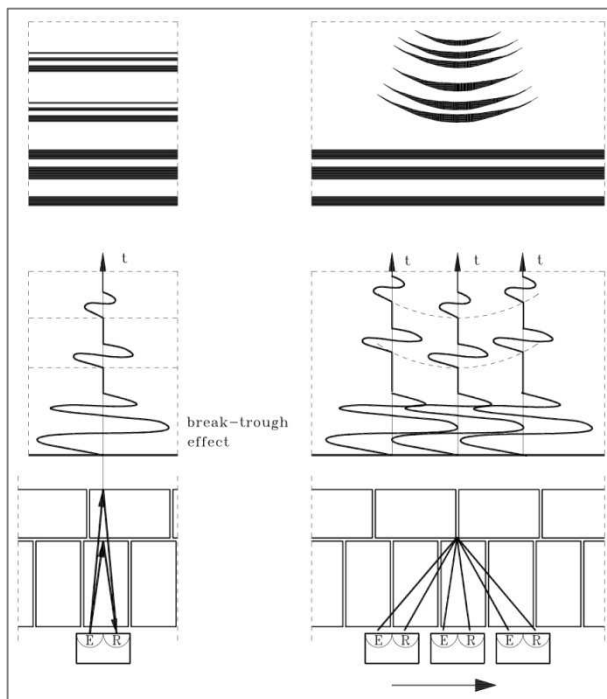


Figura 5.18 – Schema di prova radar: presenza di strati e riflessioni multiple dei giunti.

La tomografia radar è una ricostruzione della velocità e/o del coefficiente di assorbimento della radiazione all'interno di una sezione. Si ottiene eseguendo numerose misure radar in trasparenza con diverse angolazioni.

La strumentazione necessaria è un sistema radar con dipolo trasmittente e dipolo ricevente separabili oppure con due antenne uguali utilizzando il dipolo trasmittente di una e il dipolo ricevente dell'altra.

L'elaborazione dei dati consiste nella lettura del tempo di volo (o dell'ampiezza del segnale ricevuto) relativo ad ogni coppia sorgente-ricevitore e nella retro propagazione di questa lungo i rispettivi percorsi attraverso l'inversione simultanea di un sistema di equazioni le cui incognite sono i valori di velocità nelle celle in cui è stata scomposta la sezione. Nel caso della stima

dell'assorbimento a partire dall'ampiezza ricevuta, l'elaborazione è più complessa, l'elaborazione è più complessa perché sono necessarie alcune operazioni di pretrattamento dati.

Come nella tomografia sonora, la tomografia radar fornisce una mappa di distribuzione del parametro stimato all'interno della sezione, scomposta in celle di dimensioni dipendenti dalla risoluzione dell'esperimento. È pertanto possibile distinguere all'interno della sezione zone più e meno veloci e ricavare da questo interpretazioni più dettagliate sulla struttura interna della muratura. È ad esempio possibile riconoscere la presenza di cavità (segnate da velocità molto alte) purché di dimensioni non inferiori alla risoluzione dell'esperimento, materiali differenti o con differente tessitura, zone con maggiore umidità, zone con maggior grado di fessurazione.

La metodologia è discretamente applicabile (ad esclusione di strutture interessate da fenomeni di umidità molto accentuati) purché si calibri correttamente la frequenza dell'esperimento. Sulla scelta della frequenza si veda quanto detto circa le indagini radar tenendo conto che la penetrazione ivi

²⁰ S. Pesenti (a cura di), *Il progetto di conservazione: linee metodologiche per le analisi preliminari, l'intervento, il controllo di efficacia. Rapporti di ricerca*, Alilinea editrice, Firenze, 2001, pp. 118-119.

indicata considera da un percorso di andata e ritorno dal riflettore mentre nel caso delle tomografie si opera in trasparenza.

Per garantire un risultato affidabile anche la tomografia radar, come quella sonica, richiede che la sezione sia stata osservata con una copertura angolare sufficiente. Ciò può essere facilmente garantito nel caso di sezioni orizzontali di pilastri accessibili da ogni lato. Nel caso di murature o di sezioni verticali di pilastri, l'accesso su due soli lati della sezione pone dei forti limiti alla copertura angolare e quindi riduce la risoluzione dell'esperimento, specialmente nelle aree della sezione adiacenti ai lati non accessibili.

L'ingombro non trascurabile delle antenne, soprattutto quelle di minore frequenza, può costituire un ulteriore limite all'accessibilità di alcuni punti del perimetro di una sezione²¹.

b.5_carotaggi, endoscopie, video endoscopie, ispezioni della sezione muraria

L'ispezione diretta è la tecnica più indicata per l'analisi della morfologia muraria. A volte può essere condotta effettuando un limitato scasso, rimuovendo cioè alcuni mattoni o blocchi di pietra e rilevando e fotografando la sezione del muro (fig. 5.26). In alcuni casi è possibile effettuare dei carotaggi nei punti più significativi della muratura. Scopo del carotaggio non è solo l'osservazione diretta, ma di ricostruire la stratigrafia della muratura. All'interno delle perforazioni, inoltre, possono essere introdotti endoscopi o video endoscopi per una visione diretta della sezione.

L'operazione, generalmente considerata meno distruttiva ed invasiva dei prelievi effettuati manualmente, è utilizzata per verificare i risultati di altre indagini. Il limite dei carotaggi è legato all'impossibilità di ottenere campioni integri: la carota prelevata, infatti, può essere rovinata dalle vibrazioni indotte dall'operazione di prelievo, e la malta dilavata dall'acqua utilizzata per l'operazione di carotaggio; ciò impedisce, quindi, le fondamentali valutazioni sull'effettiva qualità e consistenza del materiale originario.

Le informazioni raccolte sono significative nel caso di consistenti cavità o per una ricostruzione della sezione. In altri casi, l'interpretazione delle immagini risulta poco chiara. Risultati migliori si possono ottenere introducendo invece dell'endoscopio una telecamera (video endoscopie – fig. 5.23) purché la risoluzione delle immagini sia alta. È da sottolineare che l'endoscopia e il prelievo di carotaggi sono tecniche di indagine locale che forniscono solo stratigrafie puntuali della sezione muraria²².

Endoscopie

Prima di poter eseguire indagini endoscopie si sono dovuti realizzare dei fori, eseguiti mediante trapano a percussione, all'interno dei quali fosse poi possibile introdurre la strumentazione apposita. Una volta eseguiti i fori, questi sono stati puliti grazie all'ausilio di una pompa meccanica e di un aspiratore elettrico in modo da eliminare residui interni che ostacolassero la visione dell'interno della sezione muraria. I fori sono stati realizzati di dimensioni pari a 20 mm in modo che fossero idonei per il rilievo mediante endoscopio rigido.

²¹ S. Pesenti (a cura di), *Il progetto di conservazione: linee metodologiche per le analisi preliminari, l'intervento, il controllo di efficacia. Rapporti di ricerca*, Alilinea editrice, Firenze, 2001, pp. 119-121.

²² S. Pesenti (a cura di), *Il progetto di conservazione: linee metodologiche per le analisi preliminari, l'intervento, il controllo di efficacia. Rapporti di ricerca*, Alilinea editrice, Firenze, 2001, pp. 106-107.



Figura 5.19 – Esecuzione di un foro mediante trapano a percussione.



Figura 5.20 – Osservazione mediante endoscopio

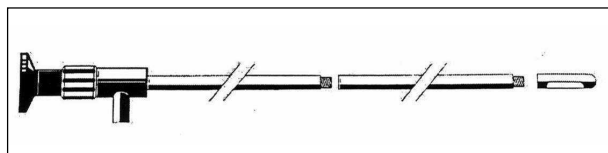


Figura 5.21 – Schematizzazione dello strumento endoscopio.

Carotaggi



Figura 5.22 – Esecuzione di un carotaggio.

L'endoscopio è uno strumento costituito da un'asta estensibile dotata di un sistema ottico. Lo strumento utilizzato per l'ispezione delle sezioni murarie e dei solai ha una lunghezza utile di lavoro da 9 a 137 cm e negli obiettivi è incorporata una lampada alogena a bassa tensione per l'illuminazione. Il sistema ottico è costituito da lenti acromatiche a bassa attenuazione di luce ed il sistema di focalizzazione è regolabile da 3 mm ad infinito.

L'endoscopio è dotato di riferimento metrico per il controllo della posizione di avanzamento all'interno del foro. Di norma l'endoscopio può essere connesso ad una videocamera o a un videoregistratore per l'acquisizione delle immagini, ma vista l'estensione delle indagini e l'immediatezza delle principali informazioni da rilevare, in questo caso, oltre al salvataggio delle immagini riprese dallo strumento durante le prove, i risultati delle indagini sono stati direttamente rappresentati mediante schizzi di cantiere sulla base delle osservazioni compiute con lo strumento per ciascun foro.

Successivamente le informazioni acquisite sono state restituite graficamente mediante programmi di grafica vettoriale per la presentazione dei risultati²³.

Prima di procedere con le indagini video-endoscopiche è stato necessario eseguire dei carotaggi all'interno delle strutture murarie da indagare.

Si è quindi proceduto al fissaggio del carotatore alla muratura, all'inserimento di prolunghe cilindriche aventi diametro di 50 mm ed all'esecuzione del foro.

Le carote così estratte, sono state

²³ Cfr. L. Binda, A. Saisi, A. Anzani, C. Tiraboschi, *Progetto di indagini per la diagnosi e metodi per il controllo dell'intervento*, corso di specializzazione per architetti, ingegneri e geometri "progettare il restauro", Padova, Aprile-Giugno 1999.

ordinatamente raccolte in appositi contenitori e rilevate ai fini dell'interpretazione dello sviluppo della sezione muraria. L'interno del foro è stato invece indagato mediante video-endoscopia²⁴.

Videoendoscopie

Il video-endoscopio è stato impiegato per ispezionare le cavità murarie create dopo l'esecuzione dei carotaggi. Lo strumento permette una visione diretta all'interno delle cavità nelle murature di un edificio. L'adozione di telecamere dalle dimensioni contenute (2.5 cm o 4 cm) consente di osservare le superfici delle cavità interne allo spessore murario. Mediante un videoregistratore portatile, dotato di display, le immagini vengono visualizzate in tempo reale e registrate su videocassetta.

Il sistema è dotato di un obiettivo fisso, per le ispezioni con vista di tipo frontale, e di un obiettivo con testa mobile, controllato da un joystick, che facilita le osservazioni da differenti angolazioni. Entrambi gli obiettivi sono muniti di un sistema d'illuminazione composto da lampade miniaturizzate da 8.4 Watt²⁵.



Figura 5.23 – Esecuzione di una video-endoscopia.



Figura 5.24 – Videoendoscopio.

Ispezioni della sezione muraria

In coincidenza dei tagli eseguiti nelle murature per condurre le prove con martinetti piatti, sono stati eseguiti degli smontaggi parziali dell'apparecchio murario, in modo da ispezionare una porzione della sezione della muratura. L'obiettivo di tale ispezione era quello di verificare l'ammorsamento tra gli elementi che compongono la muratura, in modo da controllare le informazioni sulla morfologia muraria ottenute dalle precedenti prove di tipo non distruttivo.



Figura 5.25 – Operazione di smontaggio dell'apparecchio murario in prossimità di un taglio eseguito per prova con martinetto piatto.

²⁴ Cfr. L. Binda, A. Saisi, A. Anzani, C. Tiraboschi, *Progetto di indagini per la diagnosi e metodi per il controllo dell'intervento*, corso di specializzazione per architetti, ingegneri e geometri "progettare il restauro", Padova, Aprile-Giugno 1999.

²⁵ Cfr. L. Binda, A. Saisi, A. Anzani, C. Tiraboschi, *Progetto di indagini per la diagnosi e metodi per il controllo dell'intervento*, corso di specializzazione per architetti, ingegneri e geometri "progettare il restauro", Padova, Aprile-Giugno 1999.

Lo smontaggio è stato condotto mediante martello e scalpello a mano, liberando i giunti di malta intorno a conci di pietra o laterizi, estraendo di volta in volta i diversi materiali, e ricomponendoli a terra. Ogni operazione è stata documentata mediante fotocamera digitale e schizzo manuale.

Terminata l'ispezione, i materiali sono stati ricomposti a secco all'interno della cavità prodotta nella muratura per conferire nuovamente continuità alla struttura. I prelievi dei materiali sono stati realizzati durante l'esecuzione dei saggi stratigrafici, della verifica degli ammorsamenti²⁶.

c_ Misura di alcuni parametri meccanici

c-1 prova con martinetto piatto singolo

La tecnica che prevede l'uso dei martinetti piatti, leggermente distruttiva, permette la determinazione dello stato di sollecitazione (martinetto piatto singolo), e lo studio del comportamento tenso-deformativo (martinetto piatto doppio)²⁷ della muratura²⁸.

La prova fu inizialmente messa a punto per murature di mattoni ma è utilizzabile anche su murature di pietra composte da elementi di forma e dimensioni diverse poste in opera con apparecchiatura irregolare²⁹.

Principi generali

La prova con martinetto piatto singolo permette di rilevare lo *stato di sollecitazione locale della muratura*.

Questo metodo si basa sul ripristino delle tensioni che vengono rilasciate in seguito ad un taglio orizzontale praticato in un elemento strutturale soggetto ad azioni verticali.

Le prove con martinetti piatti sono state eseguite con riferimento alle seguenti normative:

- Rilem Lum 90/2 lum D.2 (1990) – *In situ stress based on the flat jack*;
- ASTM C 1196 (1991) – *Standards test method for in situ compressive stress within solid until masonry estimated using the flat jack method*.

La prova consiste nel provocare, praticando un taglio piano orizzontale in un corso di malta, un rilascio delle tensioni, che causa come conseguenza una variazione locale della geometria superficiale della muratura.

Il taglio si effettua facilmente lungo il giunto di malta in una muratura di mattoni; nel caso di una muratura di pietra ad apparecchiatura irregolare l'operazione non è semplice, data la difficoltà di

²⁶ Cfr. L. Binda, A. Saisi, A. Anzani, C. Tiraboschi, *Progetto di indagini per la diagnosi e metodi per il controllo dell'intervento*, corso di specializzazione per architetti, ingegneri e geometri "progettare il restauro", Padova, Aprile-Giugno 1999.

²⁷ Tale tecnica, deriva da prove simili utilizzate frequentemente in meccanica delle rocce. Fu originariamente applicata alle murature in mattoni per misurarne lo stato di sollecitazione e successivamente calibrata per rilevarne le caratteristiche di deformabilità.

²⁸ Cfr. P. Rossi, *Analysis of mechanical characteristics of brick masonry tested by means of in situ test*, 6th IBMaC, 1982, Rome.

²⁹ Cfr. S. Pesenti (a cura di), *Il progetto di conservazione: linee metodologiche per le analisi preliminari, l'intervento, il controllo di efficacia. Rapporti di ricerca*, Alilinea editrice, Firenze, 2001.

individuare giunti continui regolari, ed il taglio può quindi essere praticato direttamente nei conci di pietra.

È bene scegliere una zona nella muratura in cui si possa effettuare il taglio su pietre sufficientemente grandi in modo da non causarne la frantumazione. Inoltre, è opportuno che sopra la zona di inserimento del martinetto siano presenti delle pietre in grado di formare una sorta di "architrave" nel momento in cui avviene il rilascio delle tensioni. Tale rilascio determina una chiusura parziale del taglio, la geometria del quale andrà successivamente ripristinata attraverso la pressione esercitata dal martinetto.

L'ipotesi fondamentale su cui si basa la prova con martinetto singolo è che *la pressione necessaria per riportare la muratura alla condizione geometrica precedente al taglio corrisponda al valore dello stato di sforzo locale*.

Il rilascio delle tensioni nella muratura, provoca una riduzione della distanza tra i margini, superiore ed inferiore del taglio, l'entità della quale è misurata attraverso la variazione della distanza di alcune basi di misura allineate verticalmente in posizione simmetrica rispetto al taglio³⁰.

Modalità di prova

Individuata la posizione dove effettuare il taglio, si applicano al paramento 4 basi costituite da 8 piastrine d'ottone del diametro di 5 mm, posate simmetricamente rispetto il taglio (figura 6.28).

Si effettua quindi il taglio nella muratura, con l'utilizzo di una sega circolare a disco eccentrico, fornita di lama diamantata del diametro pressoché corrispondente a quello del martinetto da inserire.



Figura 5.26 – Sega circolare a disco diamantato eccentrico.



Figura 5.27 – Taglio effettuato con disco diamantato eccentrico e posizionamento dischetti invar.

Il rilascio delle tensioni determina una parziale chiusura del taglio; l'entità degli spostamenti viene accertata misurando la convergenza tra le coppie di basi applicate a cavallo del taglio.

Si inserisce quindi il martinetto, scarico, costituito da due fogli di lamiera sottile saldati su tre lati (o lungo la semicirconferenza se semicircolare) e dotati di una valvola per l'ingresso dell'olio in pressione; lo spessore del martinetto è di circa 4/5 mm. Si rileva ancora una volta la convergenza delle basi, quindi si inizia la prova vera e propria.

³⁰ CfrL. Binda, C. Tiraboschi, *La prova con i martinetti piatti: una tecnica leggermente distruttiva per la diagnosi di strutture in muratura di pietra e mattoni*, in "l'Edilizia", n°3-4 Marzo-Aprile anno XIV, De Lettera Editore, Milano, 1999.



Figura 5.28 – Lettura della variazione della distanza tra le basi di riferimento dopo l'esecuzione del taglio.



Figura 5.29 – Martinetto piatto (dim. 350 x 250 x 4 mm) utilizzato per le prove.



Figura 5.30 – Verifica della distanza tra i punti di riferimento dopo l'inserimento del martinetto.



Figura 5.31 – Il sistema idraulico collegato al martinetto inserito nella muratura.

Prima di procedere con la descrizione della modalità di prova è opportuno illustrare brevemente i criteri che hanno portato alla scelta del posizionamento di 4 basi per rilevare gli spostamenti che intervengono nel taglio. Per spiegare questa scelta bisogna riferirsi all'esperienza, maturata dal gruppo di ricercatori del Dipartimento di Ingegneria Strutturale del Politecnico di Milano, ed alle prove sperimentali condotte sia in laboratorio su muretti in mattoni e malta, che su edifici monumentali.

La scelta di tali punti, infatti, è stata oggetto di studio. La prova con il singolo martinetto potrebbe essere eseguita posizionando 6 basi di misura, 4 interne alla zona del taglio e 2 all'esterno.

In passato, per valutare l'attendibilità delle 6 basi di misura, si sono riportati su di un grafico sforzi-spostamenti, le correlazioni tra gli spostamenti misurati dopo il taglio sulle singole basi e il valore di sforzo corrispondente al loro esatto annullamento, ottenuti in diverse prove.

I risultati di diversi casi studio confermano che le 4 basi interne all'area del taglio sono le più attendibili. Infatti, ricercando una retta di regressione lineare che le accomuni, si trova una retta passante per l'origine, che dimostra la corrispondenza diretta sforzo/spostamento.

Al contrario, le basi esterne, mostrano una retta di regressione non passante per l'origine, e sono quindi utilizzabili solo per un'eventuale controllo dei risultati delle basi esterne.

Ritornando alla descrizione della prova, il martinetto viene collegato ad una pompa a mano, e si procede incrementando la pressione, per passi di 1 bar o 0,5 bar, secondo il carico sovrastante il punto di prova e misurando la convergenza delle basi ad ogni incremento di pressione, fino a raggiungere la distanza iniziale (d_0).

La deviazione media ammissibile da d_0 dovrebbe essere maggiore di ± 0.0005 in micron a $1/20$ della massima deviazione originale. Nessuna singola deviazione dovrebbe essere $> \pm 0.0010$ micron o di $1/10$ della deviazione massima. Prove per le quali questi limiti sono superati devono considerarsi non valide³¹.

Una volta rilevato il valore di pressione corrispondente all'annullamento della convergenza provocata dal taglio, si decrementa progressivamente la pressione fino a scaricare la muratura.

Parallelamente al decremento di pressione a ogni intervallo si rileva nuovamente la convergenza delle basi. Scaricato completamente il martinetto, si ripete la misura per una seconda volta a distanza di circa 3 minuti, per avere in fase di elaborazione una seconda serie di dati, che permettano la verifica dei risultati ottenuti.

Si è detto che l'ipotesi fondamentale per questa prova è l'uguaglianza fra la pressione esercitata dal martinetto per ripristinare la distanza iniziale fra le basi e lo stato di sollecitazione.

Quest'affermazione è vera solo se si tiene conto che il martinetto non è realizzato di malta, e quindi ha una diversa rigidezza dalla muratura che si sta indagando, e che la sua forma non è perfettamente rispondente a quella del taglio, quindi l'effettivo stato tensionale nella muratura sarà:

$$\sigma = P \cdot k_m \cdot k_a$$

Dove

σ = Stato di sforzo locale

P = Pressione imposta al martinetto

K_m = Costante adimensionale, funzione della geometria, della deformabilità delle lamiere e della rigidezza della saldatura. È riportata sul certificato di taratura delle attrezzature di prova.

K_a = Costante adimensionale, che rappresenta il rapporto fra le aree, del martinetto (A_m) e del taglio (A_t);

$K_a = A_m / A_t$

Le misurazioni sulle 4 basi non danno mai lo stesso valore ed è raro che il ripristino della distanza iniziale avvenga contemporaneamente per tutte, cioè per lo stesso valore della pressione esercitata ed esattamente in corrispondenza di uno dei valori di pressione applicati per passi in modo discreto.

Di conseguenza la pressione di ripristino (o pressione di equilibrio) per ciascuna base, si ottiene non per misura diretta, ma calcolandola interpolando linearmente le letture corrispondenti ai voleri di pressione che immediatamente precedono e seguono l'avvenuto ripristino delle 4 basi³².

³¹ Rilem Lum 90/2 lum D.2 (1990) – *In situ stress based on the flat jack*

³² Cfr. L. Binda, L. Cantini, C. Tiraboschi, *Caratterizzazione e classificazione di murature storiche in zona sismica mediante prova con martinetti piatti*, XI Congresso Nazionale "L'Ingegneria Sismica in Italia", Genova, 25-29 Gennaio 2004.

Limiti e problematiche

Innanzitutto occorre ricordare, nell'esame dei risultati, che la prova fornisce indicazioni su uno stato di sforzo locale, riferito agli strati più esterni della muratura.

Questa considerazione deve essere ben nota a chi voglia utilizzare il metodo del martinetto singolo, per determinare lo stato di sforzo su una muratura di notevole spessore, o costituita da più paramenti, poiché ne derivano di conseguenza informazioni non generalizzabili a tutto il maschio murario.

L'attendibilità della prova con il martinetto singolo può essere compromessa da diversi fattori³³:

- Scelta di posizioni con stato di sforzo inferiore a 0.14 N/mm^2
- Scelta dei punti di prova con insufficiente contrasto superiore
- Comportamento non elastico del taglio una volta eseguito, il giunto, nel caso in cui questo sia molto consumato: ciò può comportare, in fase di rilascio delle tensioni, una traslazione rigida che non permetterà il ritorno alla situazione iniziale, o concentrazioni di carico. In questo caso si rende necessaria una significativa componente di giudizio soggettivo.

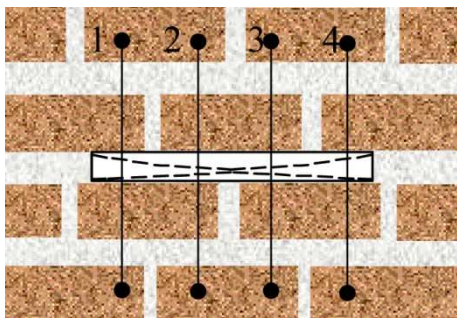


Figura 5.32 – Deformazione delle estremità del taglio; tratto da: Binda, Saisi, Anzani, Tiraboschi, *Progetto di indagini per la diagnosi e metodi per il controllo dell'intervento*, Padova, 1999.

Il comportamento non elastico del giunto, infatti, è causa di difficoltà nella determinazione della pressione di equilibrio (P).

La muratura, elemento strutturale per definizione disomogeneo e anisotropo, proprio per le sue caratteristiche può essere soggetta, durante e dopo il taglio, a distribuzioni non uniformi dello stato di sforzo (come d'altra parte già prima del taglio).

Al termine della fase di taglio, il rilascio delle tensioni provoca una parziale chiusura dello stesso, ed i valori di spostamento rilevati non sono uguali, ma tendono ad essere maggiori al centro del taglio, per la redistribuzione dello stato di sforzo. L'apertura assume la conformazione presentata in figura 33, ci sarà quindi nel lembo superiore del taglio, una concentrazione di sforzi di compressione alle estremità, mentre i valori più elevati di trazione saranno al centro³⁴.

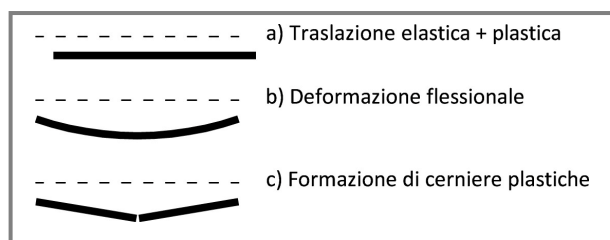


Figura 5.33 – Possibili deformazioni del taglio; tratto da: Binda, Saisi, Anzani, Tiraboschi, *Progetto di indagini per la diagnosi e metodi per il controllo dell'intervento*, Padova, 1999.

È possibile che il taglio si deformi (figura 5.34) anche per:

- Traslazione elastica;
- Deformazione flessionale elastica;
- Formazione di cerniere plastiche.

Il martinetto viene usato per effettuare una prova a compressione e non è quindi utilizzabile in zone tese poiché dopo il taglio i bordi

³³ CfrL. Binda, C. Tiraboschi, *La prova con i martinetti piatti: una tecnica leggermente distruttiva per la diagnosi di strutture in muratura di pietra e mattoni*, in "l'Edilizia", n°3-4 Marzo-Aprile anno XIV, De Lettera Editore, Milano, 1999.

³⁴ CfrL. Binda, C. Tiraboschi, *La prova con i martinetti piatti: una tecnica leggermente distruttiva per la diagnosi di strutture in muratura di pietra e mattoni*, in "l'Edilizia", n°3-4 Marzo-Aprile anno XIV, De Lettera Editore, Milano, 1999.

tenderebbero ad allontanarsi anziché avvicinarsi.

In caso di murature presso-inflesse, senza presenza di trazione, è possibile effettuare le prove su entrambi i paramenti rilevando degli stati di sforzo medi sulla sezione, tali sforzi non corrisponderanno ai valori di massimo e minimo, poiché la prova è eseguita su un'area non infinitesima. È comunque utile per avere un'idea della distribuzione dello stato di sforzo lungo lo spessore della parete³⁵.

c-2_prova con martinetti piatti doppi

Principi generali

Le prove con i martinetti piatti sono generalmente eseguite nelle medesime zone dove sono state condotte le prove con martinetto piatto singolo.

Tale tipologia di prova permette di *studiare il comportamento tenso-deformativo delle murature*.

Concluse le misurazioni con il singolo martinetto, dopo averlo scaricato, lo si lascia inserito nella muratura; si effettua un secondo taglio parallelo al precedente ma al di sopra di circa 40/50 cm, in modo da isolare un campione di muratura indisturbato di dimensioni apprezzabili, su cui effettuare una vera e propria prova di compressione monoassiale.

Sulla porzione di paramento "isolato" si applicano una serie di basi di misura su cui si posizionano dei trasduttori di spostamento LVDT, che rilevano le variazioni dimensionali (spostamenti sia verticali che orizzontali) della muratura in esame durante l'esecuzione della prova.

La prova generalmente prevede più cicli di carico e scarico esercitati dai due martinetti collegati al medesimo sistema idraulico, durante i quali si acquisiscono automaticamente sia i valori di pressione esercitata che gli spostamenti corrispondenti. Normalmente si tende ad incrementare la pressione di 1 bar ad ogni ciclo, ma in alcuni casi risulta più opportuno fermarsi a 0.5 bar.

Il valore massimo di pressione da raggiungere non è determinabile a priori ma dipende dal comportamento del paramento durante la prova, è importante arrestare la prova prima di causare delle deformazioni permanenti alla struttura. Per fare questo occorre analizzare il diagramma carichi-spostamenti, che un apposito programma può tracciare automaticamente durante la prova, e prestare attenzione alla tendenza alla fessurazione della muratura.

Se si vuole che la prova sia poco distruttiva, è necessario evitare di raggiungere la rottura, ed è opportuno fermarsi a livelli di sollecitazione non troppo elevati, che permettano però di ottenere i parametri elastici.

Maggiore è l'altezza della muratura sovrastante l'area di prova migliori sono i risultati, in quanto in presenza di un insufficiente contrasto superiore si hanno bassi valori di sforzo. In questi casi, attraverso la prova con il singolo martinetto si conosce lo stato di sforzo locale. Qualora lo stato di sforzo locale fosse piuttosto basso si può tentare la prova con il doppio martinetto applicando pressioni basse in modo da ottenere informazioni solo sui parametri elastici³⁶.

³⁵ Cfr. L. Binda, L. Cantini, C. Tiraboschi, *Caratterizzazione e classificazione di murature storiche in zona sismica mediante prova con martinetti piatti*, XI Congresso Nazionale "L'Ingegneria Sismica in Italia", Genova, 25-29 Gennaio 2004.

³⁶ Cfr. L. Binda, C. Tiraboschi, *La prova con i martinetti piatti: una tecnica leggermente distruttiva per la diagnosi di strutture in muratura di pietra e mattoni*, in "L'Edilizia", n°3-4 Marzo-Aprile anno XIV, De Lettera Editore, Milano, 1999.

Modalità di prova



Figura 5.34 – Preparazione del paramento per l'esecuzione della prova a compressione monoassiale.

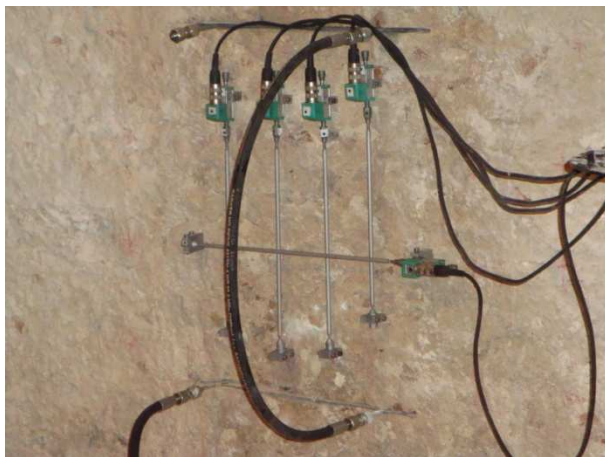


Figura 5.35 – Trasduttori di spostamento (LVDT) applicati alla muratura.

alla quale si adattano le basi, sia per quanto riguarda la loro lunghezza sia il posizionamento reciproco. Orizzontalmente sono posizionati uno o due trasduttori. Prima del posizionamento dei trasduttori è necessario rilevare la distanza tra le basi, per potere successivamente elaborare i dati raccolti durante la prova.

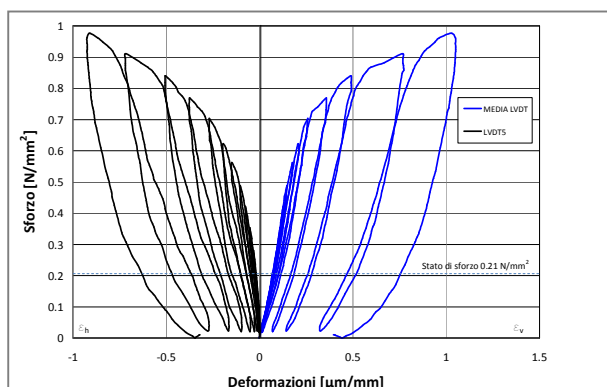


Figura 5.36 – Grafico sforzi/deformazioni relativo alla prova con doppio martinetto.

Le prove con doppio martinetto sono state eseguite con riferimento alle seguenti normative:

- Rilem Lum 90/2 lum D.2 (1990) – *In situ stress based on the flat jack*;
- ASTM C 1196 (1991) – *Standards test method for in situ compressive stress within solid until masonry estimated using the flat jack method, Philadelphia, ASTM.*

Anche per questa prova si è effettuato il taglio per l'inserimento dello strumento utilizzando una sega circolare a disco eccentrico e fornita di lama diamantata.

Dopo avere inserito nella tasca anche il secondo martinetto si è proceduto con il posizionamento dei trasduttori di spostamento. Sono state posizionate, all'interno della zona compresa tra i due martinetti, sulle pietre dell'apparecchiatura muraria, le basi metalliche su cui vengono agganciati gli LVDT: vi sono almeno 4 trasduttori di spostamento verticali, ed uno orizzontale, aventi differenti lunghezze.

I trasduttori verticali, di dimensioni normalmente pari a 250 mm (bielle corte) e 400 mm (bielle lunghe), sono fra loro distanziati di circa 10 cm: tali misure non sempre possono venire rispettate a causa delle irregolarità della muratura,

Dopo avere collegato entrambi i martinetti al sistema idraulico e ad un manometro in grado di fornire la pressione per passi discreti, e gli LVDT ad una centralina d'acquisizione dati collegata ad un calcolatore portatile, che registri automaticamente le letture degli spostamenti, si può cominciare la prova.

Durante le prove con martinetto doppio, si sono effettuati più cicli di carico e scarico, aumentando di 1 bar ad ogni ciclo la pressione esercitata e mantenendo ogni livello di sollecitazione per alcuni minuti in modo da registrare le variazioni

delle deformazioni, anche a carico costante.

Il carico massimo raggiunto nei paramenti sottoposti alla prova dipende dalle caratteristiche della muratura: si prosegue nell'incremento di carico fintanto che non si rilevano particolari deformazioni e controllando l'andamento della curva nel grafico sforzi-deformazioni.

Generalmente la prova viene arrestata appena dopo il superamento della fase elastico-lineare del diagramma sforzi-deformazioni.

Durante la prova è opportuno registrare eventuali fenomeni particolari quali fessurazioni, caduta di malta, rumori in determinati momenti.

Al termine della prova, si rimuovono le apparecchiature e si ristilano i tagli effettuati, così come prescritto dalla normativa ASTM 1196/91.

Con questa prova, avendo rilevato gli spostamenti laterali e verticali in determinate condizioni di carico, è possibile conoscere i valori di:

- Modulo elastico: E (Modulo di Young)
- Coefficiente di deformazione laterale

Riferiti al tratto corrispondente alla fase elastica del diagramma sforzo-deformazione in figura 37.

In realtà i parametri calcolati sono, però:

- Modulo elastico secante: si determina, infatti, il modulo secante relativo alla porzione lineare del diagramma che involupa le curve sforzi/deformazioni.
- Coefficiente di dilatazione trasversale: il pannello murario risulta confinato lateralmente e posteriormente, quindi non si può parlare di Coefficiente di deformazione laterale, come per prove di compressione monoassiale, nelle quali il provino non ha confinamenti.

Il diagramma sforzi/deformazioni (figura 5.37), ricavato per ogni prova effettuata, si ottiene in base alle letture eseguite da ciascun trasduttore in corrispondenza di un certo carico, rispettivamente in direzione verticale e orizzontale.

In particolare, i valori di deformazione sono stati ottenuti calcolando, per ogni lettura eseguita, il rapporto fra la distanza corrente esistente fra due basi di misura e la loro distanza iniziale, mentre il valore dello sforzo è pari al prodotto della pressione esercitata per i due coefficienti adimensionali k_m (costante adimensionale del martinetto) e k_a (costante adimensionale che rappresenta il rapporto fra l'area del martinetto e l'area del taglio).

Generalmente si hanno 4 curve, rappresentanti le deformazioni dovute all'accorciamento in direzione verticale, e 1 o 2 curve che descrivono la dilatazione trasversale.

Nei casi in cui alcune curve individuali presentavano un andamento molto diverso dalle altre, queste sono state escluse dall'interpolazione, oppure sono state tracciate due differenti curve interpolanti³⁷.

³⁷ Cfr. L. Binda, C. Tirabichi, *La prova con i martinetti piatti: una tecnica leggermente distruttiva per la diagnosi di strutture in muratura di pietra e mattoni*, in "l'Edilizia", n°3-4 Marzo-Aprile anno XIV, De Lettera Editore, Milano, 1999.

Limiti e problematiche

Le porzioni di muratura oggetto della prova con martinetto doppio, che si considera “isolata” dal restante paramento, in realtà risulta vincolata ad esso su tre lati. Questi tre confinamenti permettono comunque deformazioni sotto carico per la presenza dei giunti verticali.

Le letture di ciascuna base sono tra loro differenti, il calcolo dei parametri elastici si effettua su alcuni diagrammi ottenuti dalla loro interpolazione determinando, quindi, due o più valori del Modulo Elastico Secante e del Coefficiente di Dilatazione Trasversale.

Per caratterizzare la struttura può essere sufficiente definire questo nuovo range, ma nel caso in cui il valore debba essere utilizzato per verifiche strutturali, sarà sempre opportuno considerare il minore fra i risultati ottenuti, volendo seguire una logica a favore di sicurezza³⁸, che penalizza il risultato migliore.

c. Identificazione dinamica

Tra le differenti metodologie di indagini non distruttive (NDT) impiegate per la caratterizzazione degli edifici storici in muratura, le indagini dinamiche hanno dimostrato di essere uno strumento particolarmente efficace³⁹. Infatti, contrariamente ad altre metodiche di indagine che forniscono dati qualitativi/quantitativi a livello locale, l'indagine dinamica è in grado di fornire dati relativi al comportamento strutturale globale dell'edificio. Tale conoscenza, ottenuta sulla base di evidenze sperimentali, riveste una particolare importanza per tale tipologia di strutture, essendo decisamente complesso ottenerne un modello comportamentale affidabile, date le numerose variabili coinvolte nel problema.

I test di identificazione dinamica sono finalizzati alla caratterizzazione della risposta *modale* della struttura; i risultati che si possono ottenere sono direttamente correlabili a parametri fisici e strutturali della stessa, come la geometria (distribuzione delle masse), la rigidità e le condizioni di vincolo. I modelli ottenuti a partire dall'identificazione strutturale possono essere usati per valutare il comportamento attuale dell'edificio, nonché porsi come utile strumento predittivo nei confronti di azioni eccezionali, quali ad esempio i terremoti.

Rispetto a tecniche di analisi modale consolidate e basate sulla conoscenza del segnale di input (Ewins, 2000), un'alternativa è la valutazione della risposta dinamica indotta dalle vibrazioni ambientali, metodologia per la quale non è necessario applicare alla struttura un'eccitazione (input signal) nota. La finalità delle prove ambientali (OMA, Operational Modal Analysis, o anche AVT Ambient Modal / Output only Modal) è quello di individuare i parametri modali di massima (frequenze, ampiezze modali) e di misurare il livello e il campo di frequenza delle vibrazioni indotte dall'ambiente.

In termini generali, la risposta di una struttura ad una forzante possiede caratteristiche dinamiche tanto della struttura quanto della forzante che eccita il sistema. Il modello che ne deriva contiene pertanto informazioni sia sulle caratteristiche del sistema che su quelle della forzante (ed eventualmente del rumore proveniente da sorgenti indesiderate). L'ipotesi alla base dell'estrazione dei

³⁸ Cfr. L. Binda, L. Cantini, C. Tiraboschi, *Caratterizzazione e classificazione di murature storiche in zona sismica mediante prova con martinetti piatti*, XI Congresso Nazionale “L'Ingegneria Sismica in Italia”, Genova, 25-29 Gennaio 2004.

³⁹ Modena et al., 2001; Jaishi et al., 2003; Gentile et al., 2004; Ramos et al., 2006; Casarin, 2006

parametri modali dalla sola risposta dinamica della struttura è che la forzante si possa assimilare ad un processo stocastico stazionario a media nulla (rumore bianco), di cui generalmente non si conosce la covarianza. In assenza di rumore di fondo vale, nel dominio delle frequenze:

$$X(\omega) = H(\omega)\tilde{F}(\omega)$$

e per un periodo di acquisizione sufficientemente lungo, con l'ipotesi di rumore bianco, vale:

$$\tilde{F}^2(\omega) = \sigma_F^2$$

Da cui:

$$H^2(\omega) = \frac{X^2(\omega)}{\sigma_F^2}$$

L'ipotesi di rumore bianco è accettabile per lunghi periodi di campionamento, per i quali tuttavia la presenza di un rumore di fondo diventa non trascurabile. Ciò nonostante lo spettro di Fourier delle acquisizioni ambientali è sufficiente a mettere in evidenza le principali basse frequenze della struttura.

Le tecniche di identificazione modale operano principalmente nel dominio del tempo o delle frequenze⁴⁰. Le prime procedure, basate sull'estrazione delle FFT (Trasformate di Fourier – Fast Fourier Transform) dai segnali registrati e sulla successiva correlazione tra i vari canali (ad es. il metodo FFD, Frequency Domain Decomposition method, Brincker et al. 2000), propongono dei risultati in tempi ridotti ma la loro precisione diminuisce nel caso (frequente) di modi propri di vibrazione ravvicinati nel dominio delle frequenze (strutture simmetriche). Date le ipotesi sulla vibrazione ambientale (rumore bianco), la funzione di densità spettrale (PSD - Power Spectrum Density) del segnale di input viene considerata costante. I picchi della Funzione di Risposta in Frequenza (Frequency Response Function – FRF - corrispondenti alle risonanze del sistema strutturale) possono pertanto essere direttamente correlati ai picchi della funzione di densità spettrale (PSD) dei soli segnali di output.

Il secondo gruppo si basa sul fitting parametrico di un modello matematico sulle funzioni di correlazione tra i segnali o direttamente sui dati acquisiti dai sensori. Tale calibrazione si ottiene dalla minimizzazione della deviazione standard tra la risposta prevista dal modello e quella misurata sperimentalmente. Tali metodi consentono una più precisa stima dei parametri modali rispetto ai primi, sebbene richiedano un maggiore onere computazionale.

Da un punto di vista pratico, ai fini dell'ottenimento di dati significativi e quindi utilizzabili per la fase di data-processing, è necessario attenersi a delle regole base. In primo luogo deve essere costruito un modello comportamentale di riferimento (ad es. mediante il Metodo degli Elementi Finiti) della struttura in esame, in modo da ottenere una prima stima delle frequenze e forme modali proprie. Tale passo è tanto più importante quanto maggiore è la complessità del sistema strutturale, in quanto in tal caso le forme modali sono difficilmente intuibili a priori. E' infatti essenziale definire correttamente i punti prova, ovvero le posizioni sulla struttura nelle quali misurare la risposta della stessa, posizionando i sensori in prossimità dei *ventri* delle forme modali definite mediante la modellazione.

Il secondo passo è la definizione del numero di sensori/posizioni di prova da considerare nel setup del test. In generale, il numero di punti significativi è superiore al numero di sensori a disposizione,

⁴⁰ Zhang et al., 2007

pertanto si procederà all'acquisizione di segnali in fasi successive, con differenti configurazioni di prova – i sensori vengono disposti in varie posizioni dell'edificio - mantenendo fissi dei sensori di riferimento. Ogni layout di prova viene definito *setup*.

Infine devono essere valutati con attenzione tanto le caratteristiche del sistema (hardware) che i parametri di acquisizione. Alcuni punti importanti per una corretta indagine sono: la scelta di sensori adeguati allo scopo (ad es. con sufficiente risoluzione per registrare segnali di ridotta ampiezza); la frequenza di campionamento, definita sulla base della risposta attesa dell'edificio; la durata dell'acquisizione (indicativamente può essere considerata adeguata una acquisizione di durata pari o superiore a 1000 volte il periodo fondamentale della struttura)⁴¹.

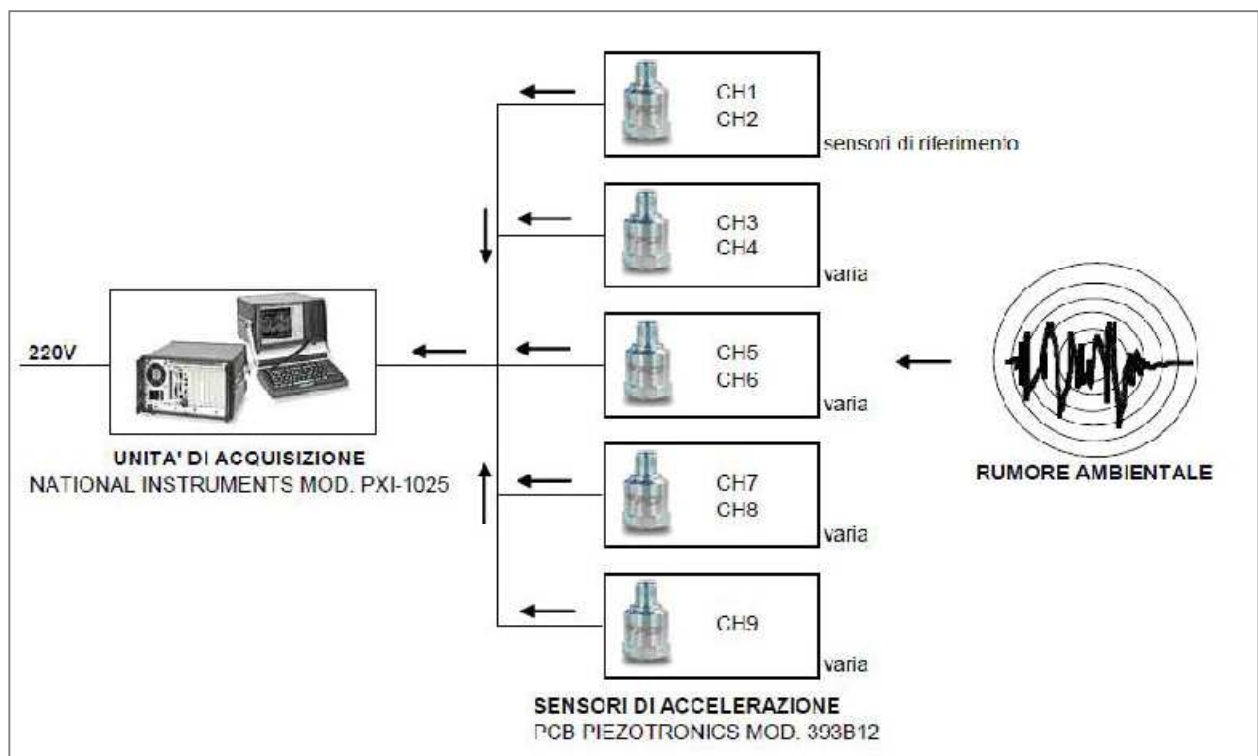


Figura 5.37 – Schema logico dell'acquisizione – sistema a 9 canali.

⁴¹ Cfr. Politecnico di Milano, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila"*, Giugno 2010, pp. 131-132

BIBLIOGRAFIA:

- G. Baronio, L. Binda, F. Scirocco, *Controlli non distruttivi per la determinazione delle caratteristiche dei laterizi*, in "Atti del 15° Congresso ANDL", 1980.
- L. Binda, *Consolidamento degli edifici storici*, Appunti del corso A.A. 2005-2006
- L. Binda, *Le strutture: individuazione, rappresentazione e valutazione del degrado statica*, in A. Magliacci, F. Mola, S. Tattoni (a cura di), *Consolidamento e recupero dei centri urbani*, CLUP, Milano, 1998.
- L. Binda (a cura di), *Caratterizzazione delle murature in pietra e mattoni ai fini dell'individuazione di opportune tecniche di riparazione*, CNR – Gruppo Nazionale Difesa dai Terremoti, Roma, 2000.
- L. Binda, G. Baronio, C. Tiraboschi, *Indagini in situ su materiali e strutture della cattedrale di noto*, Seminario internazionale su: *Cattedrale di Noto e Frauenkirche di Dresda: indagini per il progetto di ricostruzione*, Noto, n°4, 2000.
- L. Binda, L. Cantini, C. Tiraboschi, *Caratterizzazione e classificazione di murature storiche in zona sismica mediante prova con martinetti piatti*, XI Congresso Nazionale "L'Ingegneria Sismica in Italia", Genova, 25-29 Gennaio 2004.
- L. Binda, L. Cantini, G. Cardani, A. Saisi, *Prove con martinetti piatti e soniche per la caratterizzazione della qualità muraria*, Atti del workshop "sicurezza e conservazione degli edifici storici in funzione delle tipologie edilizie, della concezione costruttiva e dei materiali", Milano, 18-19 Dicembre 2006.
- L. Binda, A. Saisi, *Il ruolo delle indagini nella diagnostica strutturale*, atti del convegno "Le mura di Lucca dal restauro alla manutenzione programmata", Lucca, 17-18-19 Maggio 2001.
- L. Binda, A. Saisi, A. Anzani, C. Tiraboschi, *Progetto di indagini per la diagnosi e metodi per il controllo dell'intervento*, corso di specializzazione per architetti, ingegneri e geometri "progettare il restauro", Padova, Aprile-Giugno 1999.
- L. Binda, A. Saisi, C. Tiraboschi, *Utilizzo delle indagini soniche per la diagnosi di strutture murarie danneggiate e riparate: applicazioni alla Cattedrale di Noto*, in "l'Edilizia", n°9-10 Settembre-Ottobre anno XIV, De Lettera Editore, Milano, 1999.
- L. Binda, A. Saisi, C. Tiraboschi, S. Valle, C. Colla, *Indagini soniche e radar sui pilastri e sulle murature della cattedrale di noto*, Seminario internazionale su: *Cattedrale di Noto e Frauenkirche di Dresda: indagini per il progetto di ricostruzione*, Noto, n°5, 2000.
- L. Binda, A. Saisi, S. Valle, L. Zanzi, *Indagini soniche applicate alle murature in mattoni. Calibrazione ed individuazione di paramenti significativi*, in "Atti del V Congresso Nazionale ASS.I.R.C.CO", Orvieto, 1997.
- L. Binda, C. Tiraboschi, *La prova con i martinetti piatti: una tecnica leggermente distruttiva per la diagnosi di strutture in muratura di pietra e mattoni*, in "l'Edilizia", n°3-4 Marzo-Aprile anno XIV, De Lettera Editore, Milano, 1999.
- L. Binda, C. Tiraboschi, R. Tonigini Folli, *On site and laboratory investigation on materials and structure of bell tower of Monza*, 2nd int. Conf. RILEM on rehabilitation structure, Australia.
- M. Lualdi, L. Zanzi, *Metodologie di acquisizione per un uso sistematico del georadar in modalità 3D*, Atti del workshop "sicurezza e conservazione degli edifici storici in funzione delle tipologie edilizie, della concezione costruttiva e dei materiali", Milano, 18-19 Dicembre 2006.
- S. Pesenti (a cura di), *Il progetto di conservazione: linee metodologiche per le analisi preliminari, l'intervento, il controllo di efficacia. Rapporti di ricerca*, Alilinea editrice, Firenze, 2001.

- Politecnico di Milano, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila"*, Giugno 2010
- P. Rossi, *Analysis of mechanical characteristics of brick masonry tested by means of in situ test*, 6th IBMaC, 1982, Rome.

SITOGRAFIA:

- [http:// www.indaginitermografiche.it](http://www.indaginitermografiche.it)
- [http:// www.termografia-infostudio.com](http://www.termografia-infostudio.com)
- [http:// www.ndt.net](http://www.ndt.net)
- [http:// www.proveinsitu.it](http://www.proveinsitu.it)
- [http:// www.diagnosticastrutturale.com](http://www.diagnosticastrutturale.com)

NORMATIVA DI RIFERIMENTO:

- Rilem Lum 90/2 lum D.2 (1990) – *In situ stress based on the flat jack.*
- Rilem Lum 90/2 lum D.3 (1990) – *In situ strength and elasticity based on the flat jack.*
- Rilem MS 93/15 – *Improvement of the drilling method for the determination of moisture content in building materials.*
- ASTM C 1196 (1991) – *Standards test method for in situ compressive stress within solid until masonry estimated using the flat jack method, Philadelphia, ASTM.*
- ASTM C 1197 (1991) – *Standards test method for in situ measurement of masonry deformability proprieties using the flat jack method.*

CAPITOLO 6

Armonizzazione dei risultati.

a_ Localizzazione delle prove.

La campagna di prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio e dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi è stata condotta dal 3 all'8 e dal 17 al 22 Maggio 2010.

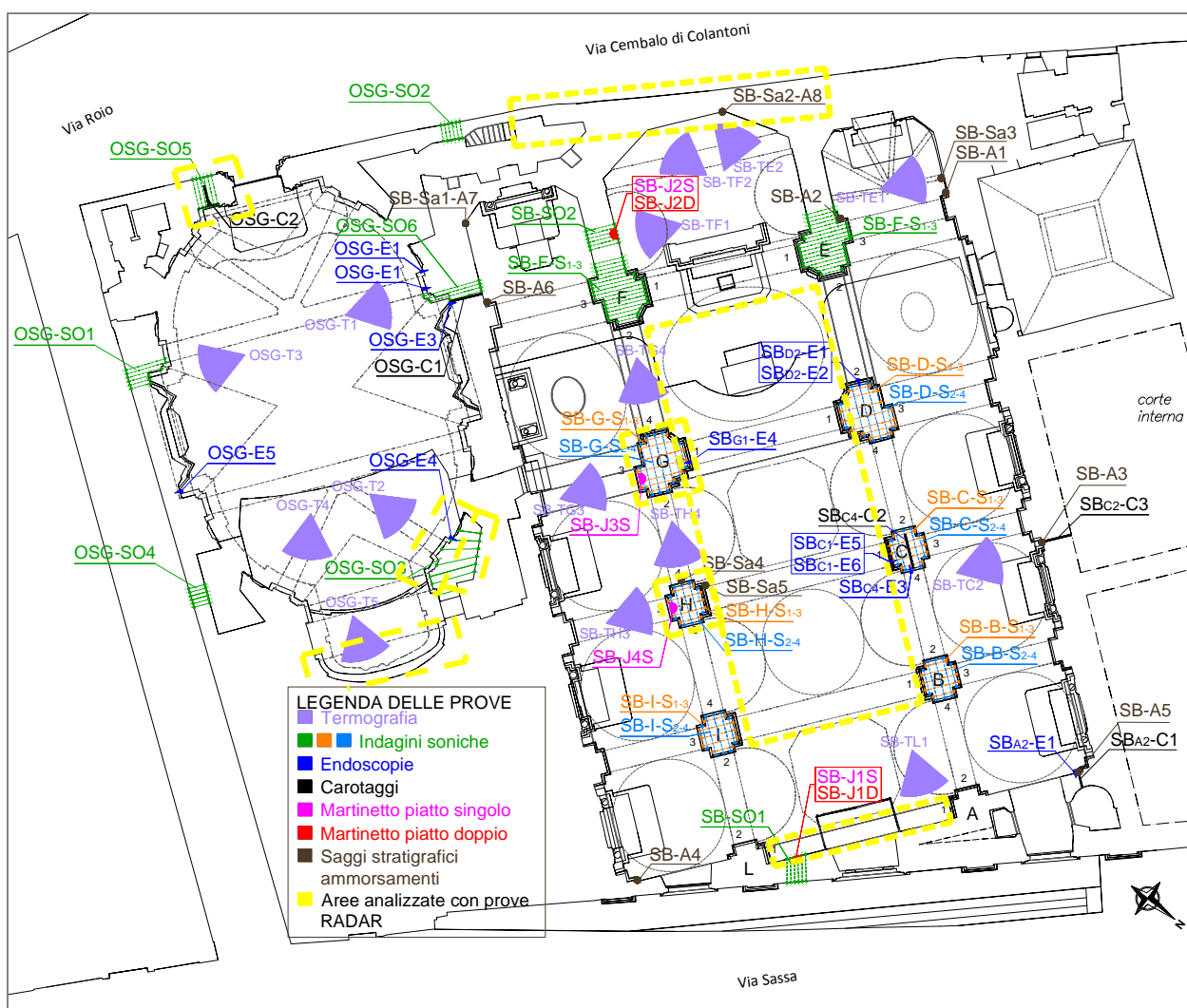


Figura 6.1 – Localizzazione delle prove nella chiesa di san Biagio e nell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi.

Le prove sono state applicate a diverse strutture della chiesa di San Biagio e dell'oratorio di S. Giuseppe. Ognuna di queste strutture è stata studiata con l'impiego complementare di prove non distruttive, quali termografiche, indagini soniche e prove RADAR, in modo da ottenere informazioni significative sulla disposizione degli elementi che costituiscono la tessitura muraria e la morfologia interna della sezione delle murature. Successivamente, in alcune di queste aree, l'approfondimento conoscitivo è proseguito tramite l'esecuzione di carotaggi, endoscopie, videoendoscopie, per verificare i risultati ottenuti dalle prove non

distruttive. Infine, limitatamente a pochi elementi strutturali ritenuti particolarmente rappresentativi, sono state condotte prove con martinetto piatto singolo e doppio per l'acquisizione di parametri utili alla definizione delle proprietà meccaniche della muratura. In coincidenza dei punti in cui sono state condotte prove con martinetti piatti è stato eseguito uno smontaggio parziale della muratura, per verificare la morfologia della sezione muraria.

b_ Controllo del rilievo geometrico e del quadro fessurativo della chiesa di san Biagio.

Le prime analisi svolte all'interno dell'edificio sono state la verifica e l'integrazione del rilievo geometrico fornito dalla Soprintendenza, attraverso il rilievo diretto (in modo da restituire la planimetria, i prospetti, tre sezioni longitudinali, la pianta delle volte e le geometrie dettagliate dei pilastri e delle paraste) e la verifica del quadro fessurativo.

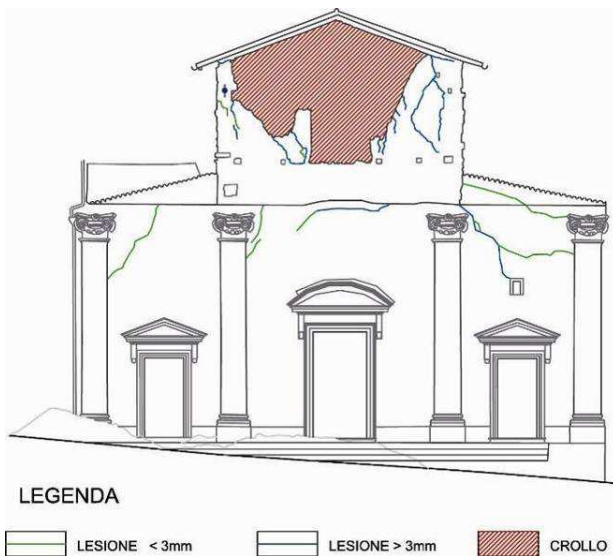
Al fine di restituire graficamente il rilievo del quadro fessurativo è stata operata una classificazione dimensionale delle fessure da indagare, data la grande varietà dimensionale delle lesioni presenti nelle murature. Sono state quindi individuate quattro classi:

- Lesioni < 1 mm;
- Lesioni > 1 mm e < 3 mm;
- Lesioni > 3 mm e < 7 mm;
- Lesioni < 7 mm.

Per quanto concerne i prospetti esterni e le volte sono state individuate solo due categorie di spessori (<3 mm, >3 mm) in quanto, a causa dell'assenza di ponteggi e della loro eccessiva lontananza, le loro dimensioni si potevano solamente ipotizzare. Nonostante questo, il loro andamento sulla muratura è stato rilevato con accuratezza. Il tutto è stato successivamente restituito in tavole in scala 1:50.

Per quanto riguarda invece i pilastri e le paraste, l'analisi condotta è stata molto approfondita, tanto da arrivare alla restituzione del rilievo in scala 1:20.

È stata introdotta inoltre una voce relativa ai crolli parziali che erano per la maggior parte presenti nei prospetti della navata centrale.



Analizzando il quadro fessurativo presente all'interno delle strutture della chiesa, appare subito evidente il crollo della parte sommitale della facciata. Proprio associate a questo fenomeno si notano in facciata alcune importanti lesioni con andamento verticale e obliquo (figura 6.2). Anche sulle murature longitudinali, in prossimità dell'ammorsamento con la facciata si notano delle fenditure con andamento verticale.

Figura 6.2 – Porzione muraria collassata.



Figura 6.3 – Fessura nella parete longitudinale in prossimità del margine sinistro del timpano.



Figura 6.4 – Fessura al margine destro del timpano.

Altre importanti lesioni si ritrovano all'interno della chiesa. In particolare si notano delle fessure con andamento tendenzialmente verticale e obliquo che a partire dalla chiave degli archi si propagano verso i finestrone.

Ulteriori fessure importanti e sistematiche con andamento tendenzialmente circolare si ritrovano in prossimità della base delle volte. Talvolta tali lesioni si connettono a quelle che attraversano la chiave degli archi trasversali a separazione delle campate.

Altre lesioni si ritrovano sulle colonne della navata centrale. Tali fessure sono generalmente di piccola entità con andamento orizzontale, e sono generalmente localizzate nella parte inferiore del fusto delle colonne. Si associa proprio a queste lesioni il distacco, e a volte la conseguente caduta, dell'intonaco.

Infine si ritrovano delle fessure distribuite sulle pareti delle navate laterali. Generalmente presentano entità piuttosto limitata e orientamenti vari.

Per un approfondimento del quadro fessurativo si rimanda alle tavole allegate.

c_Analisi dei possibili meccanismi di collasso

Dall'esame del quadro fessurativo è stato possibile formulare delle ipotesi sui meccanismi di collasso (precedentemente individuati durante la redazione della schede chiese) attivati dal fenomeno sismico.

Dalle analisi preliminari del quadro fessurativo e dei meccanismi di collasso riconoscibili è stato subito possibile individuare un comportamento della struttura caratterizzato da un moto in direzione longitudinale rispetto la chiesa stessa¹.



Figura 6.5 – Fessurazione nella prima arcata di sinistra della parete della navata principale.

¹ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione interpretativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila"*, Milano, Giugno 2010, pag 5.

c.1_Compportamento meccanico della sommità della facciata

Il fenomeno di dissesto di maggiore rilievo è stato il collasso della porzione sommitale della facciata della chiesa. Tale fenomeno, come precedentemente illustrato, rientra nella casistica dei meccanismi più ricorrenti ed è classificato al punto 2 della scheda per il rilievo del danno nelle chiese².

Il collasso della muratura è avvenuto sia internamente che esternamente alla chiesa. Tale collasso potrebbe essere dovuto sia ad un meccanismo di flessione orizzontale che ad un'azione di martellamento della gronda sulla facciata.

Esaminando la situazione precedente all'intervento di messa in sicurezza dell'edificio si è potuto attribuire l'attivazione del meccanismo a diversi fattori:

- L'indebolimento della compagine muraria dovuto alla presenza di un'apertura di notevoli dimensioni;
- La mancanza di un'efficace connessione tra il cordolo di chiusura della copertura e il timpano;
- L'indebolimento della struttura muraria legato alla presenza di un tirante in legno inserito nello spessore della muratura.



Figura 6.6 – Collasso della sommità della facciata della chiesa; visibile il tirante in legno.

La fascia di muratura interessata dal crollo risultava vincolata quasi esclusivamente lungo i bordi verticali. Peraltro nel corso di rilievi anteriori all'evento sismico si erano accertati fenomeni di degrado della muratura nella zona sinistra, il che, insieme alle circostanze descritte, rendeva la parete particolarmente vulnerabile alle azioni flessionali.

Le considerazioni fatte trovano ulteriore conferma nel rilievo di importanti fessure correnti in direzione verticale, presenti sia in facciata che nelle pareti longitudinali presso la connessione della porzione di muratura crollata. Tali fenditure infatti sono associabili a fenomeni fessurativi direttamente correlabili al meccanismo di fuori piano della facciata³.

c.2_Compportamento meccanico del colonnato

L'esame del quadro fessurativo sulle strutture interne della chiesa, analizzato alla luce e congiuntamente al rilievo del meccanismo di fuori piano della facciata, ha permesso di identificare un comportamento della struttura caratterizzato da un moto globale in direzione longitudinale.

Il quadro fessurativo dei pilastri e delle pareti della navata principale evidenzia il tipico meccanismo di risposta dei colonnati sollecitati in direzione longitudinale (tra l'altro già identificato mediante l'analisi della scheda chiese).

Grazie alla scrupolosa analisi di tutte le fessure presenti sull'edificio, in particolare sui pilastri, sono state riscontrate proprio su questi ultimi molte lesioni soprattutto all'altezza del basamento, in corrispondenza

² D.P.C.M. del 23 febbraio 2006

³ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione interpretativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila"*, Milano, Giugno 2010, pp. 5-6.

dei giunti di malta tra le pietre. L'andamento delle lesioni, coerente con il supposto moto in direzione longitudinale della struttura, è prevalentemente verticale sebbene siano presenti anche fessure orizzontali, indicative di moti di inflessione in direzione longitudinale. Il loro spessore varia da una larghezza inferiore al millimetro, fino a fratture più importanti catalogabili nell'ordine del centimetro. Nei casi più gravi le lesioni sono causa della spaccatura di alcune pietre del basamento, utilizzate però esclusivamente come rivestimento.

Anche nei prospetti della navata centrale, è possibile osservare la presenza di lesioni che a partire dalla chiave degli archi si propagano fino ai soprastanti finestroni. Queste fratture, aventi direzione prevalentemente obliqua, danno ulteriore supporto all'ipotesi che l'edificio sia stato soggetto ad un'azione di taglio che ha percorso longitudinalmente l'intero corpo di fabbrica.

È stato inoltre osservato che, in prossimità delle arcate che si alternano alle paraste nella navata di destra, sono presenti delle fessure perimetrali che mostrano un distacco del paramento di origine barocca dal muro perimetrale preesistente. Le prove endoscopiche successivamente effettuate hanno infatti riscontrato un vuoto di 7 cm tra il paramento interno e quello esterno più massiccio.

Infine si riscontrano forme di danno diffuso che hanno provocato il distacco, e a volte la caduta, dell'intonaco. Ciò prevale soprattutto nella parte inferiore degli elementi⁴.



Figura 6.7 – Fessurazione nella quarta arcata di sinistra della parete della navata principale.

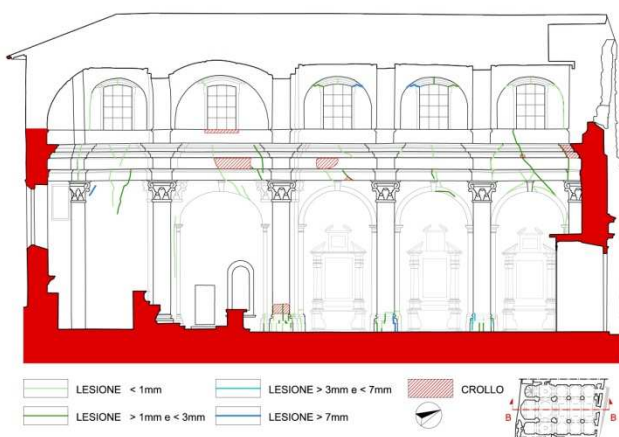


Figura 6.8 – Quadro Fessurativo: sezione B-B

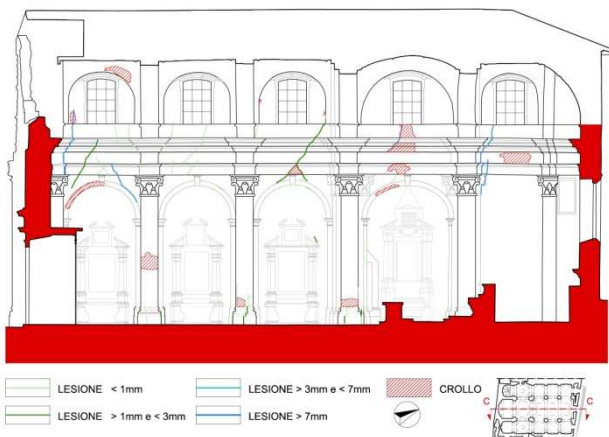


Figura 6.9 – Quadro Fessurativo: sezione C-C

c.3_Compportamento meccanico delle volte laterali

Anche le volte ribassate delle navate laterali sono caratterizzate dalla presenza di fessurazioni evidenti, che sono sviluppate con andamento tendenzialmente circolare. Tali lesioni presuppongono una rottura causata da un'azione di taglio agente su una struttura il cui spessore è ridotto. Il numero delle lesioni è di minore entità grazie alla presenza dei costoloni sull'estradosso.

⁴ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione interpretativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila"*, Milano, Giugno 2010, pag 7-8.

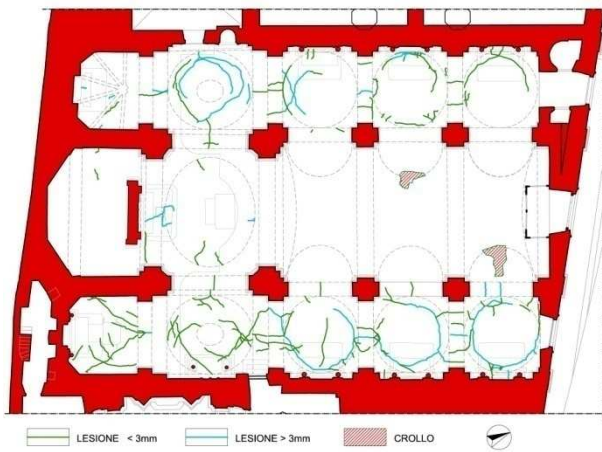


Figura 6.10 – Quadro Fessurativo nelle volte

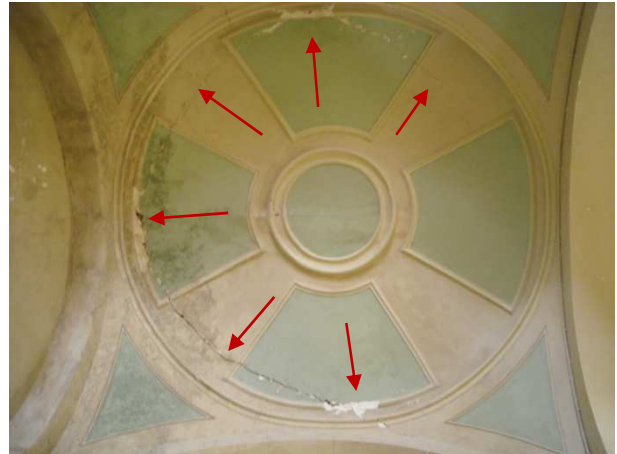


Figura 6.11 – Fessurazione nelle volte

Si può notare come le fessure seguano l'andamento dei giunti orizzontali, parti della volta maggiormente soggette ai carichi orizzontali. Le fratture si concentrano principalmente sulle volte a base ellittica, presenti nella quarta campata, e talvolta si congiungono con quelle all'altezza della chiave degli archi trasversali, che dividono le navate laterali da quella centrale.

La navata centrale, inoltre, è interessata da crolli parziali dovuti alla caduta degli elementi nella copertura⁵.

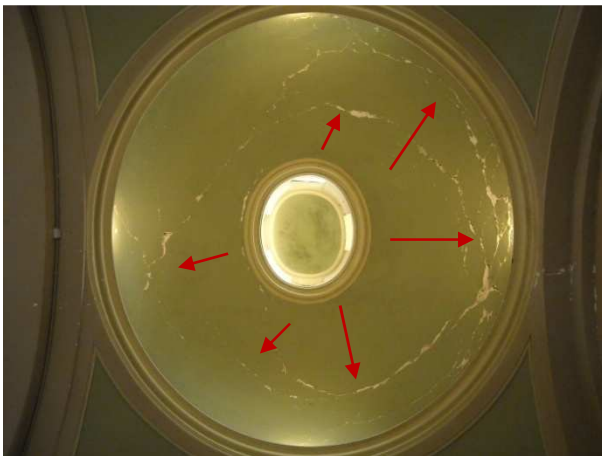


Figura 6.12 – Fessurazione nelle volte a base ellittica.



Figura 6.13 – Crolli localizzati nella volta della navata centrale.

c.4_Sollecitazione in direzione trasversale



Si ritiene importante rilevare che le strutture della chiesa hanno subito intense sollecitazioni anche in direzione trasversale nonostante l'azione di confinamento esercitata sulla chiesa stessa dall'edificio circostante. A conferma di questo si ritrovano alcuni fenomeni fessurativi nelle paraste e nelle murature perimetrali delle navate laterali in cui si possono osservare lesioni orizzontali e la

Figura 6.14 – Scorrimento trasversale della prima arcata sul lato sinistro.

⁵ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione interpretativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila"*, Milano, Giugno 2010, pag 9.

sconnessione di porzioni di rivestimento delle pareti dei muri perimetrali in pietra⁶.

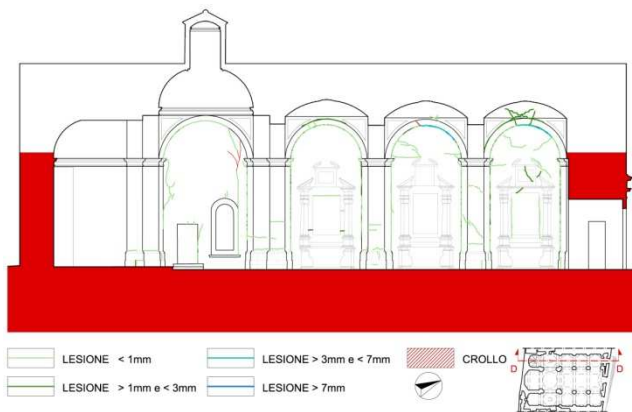


Figura 6.15 – Quadro fessurativo – sezione D-D.

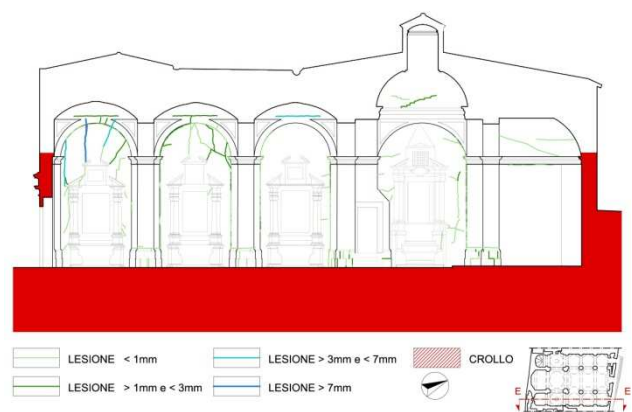


Figura 6.16 – Quadro fessurativo – sezione E-E.

d_Analisi del quadro fessurativo dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi

Per quanto riguarda il quadro fessurativo dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi ci, si è riferiti al rilievo effettuato dall'Università "La Sapienza" di Roma. Tale analisi è stata realizzata nel giugno 2009, ancora in fase di emergenza, per cui il sopralluogo è stato fatto nel breve tempo messo a disposizione degli studiosi dalla Protezione Civile. Sono state quindi velocemente annotate le fessure *in situ*, e restituite successivamente in disegni mediante l'ausilio delle riprese fotografiche eseguite con i primi rilievi.

A seguito della metodologia operativa d'emergenza adottata, le lesioni non sono state catalogate in base alla loro ampiezza, mentre si è prestata più attenzione alla corretta rappresentazione del loro andamento, ritenuto molto significativo per valutare i cinematismi in atto.

Durante i sopralluoghi effettuati è stato però possibile acquisire le misure di fuori piombo mediante livella a metro solamente nei luoghi dove era consentito l'avvicinamento dei tecnici per ragioni di sicurezza⁷.

e_Analisi dei possibili meccanismi di collasso

e.1_Compportamento meccanico di facciata

Il cinematismo di maggiore risalto risulta essere il ribaltamento della facciata; meccanismo piuttosto ricorrente negli edifici della medesima tipologia di quello indagato sottoposti alle medesime sollecitazioni; infatti viene identificato come meccanismo n°1 nell'abaco dei meccanismi di collasso.

A seguito del meccanismo di rotazione attivatosi nella facciata, si stima un fuori piombo della muratura in un angolo di circa $0,69^\circ$ ⁸. Dall'analisi delle fessure apertesì lateralmente alla facciata stessa, si nota come l'ammorsamento tra la muratura costituente il fronte della fabbrica e delle murature perimetrali non sia particolarmente curato.

⁶ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione interpretativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila"*, Milano, Giugno 2010, pag 10.

⁷ Cfr. Sapienza Università di Roma, *Oratorio di san Giuseppe dei minimi: analisi dei danni causati dal terremoto del 6 Aprile 2009 al patrimonio culturale*, 30 Giugno 2009, pag 23.

⁸ Cfr. Sapienza Università di Roma, *Oratorio di san Giuseppe dei minimi: analisi dei danni causati dal terremoto del 6 Aprile 2009 al patrimonio culturale*, 30 Giugno 2009, pag 23.

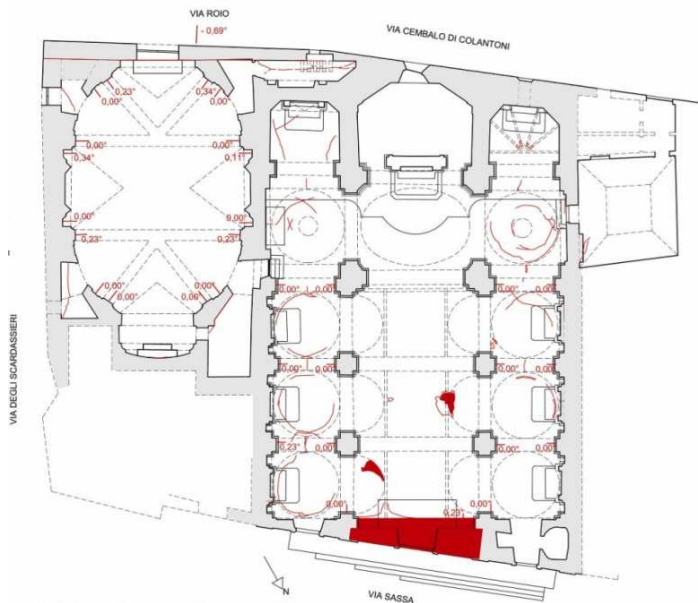


Figura 6.17 – Quadro fessurativo e deformativo. In rosso le lesioni e i valori degli angoli del fuori piombo della parete.

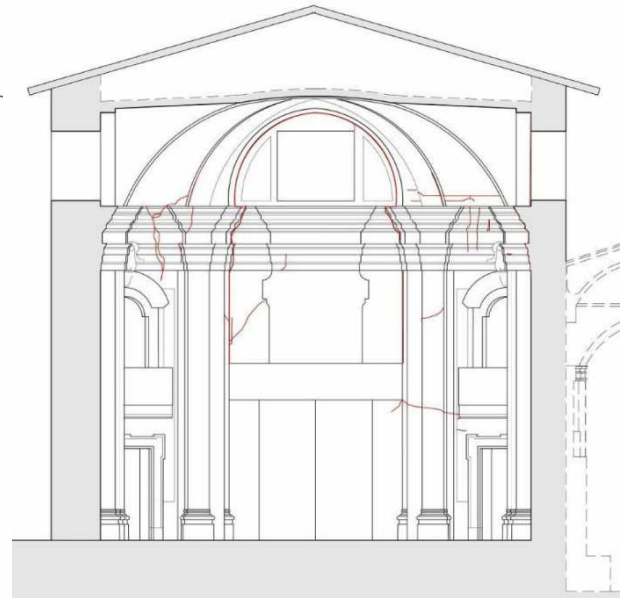


Figura 6.18 – Quadro fessurativo. Sezione trasversale verso la facciata.

Al ribaltamento della facciata sono associabili diverse lesioni osservabili dall'interno dell'aula e negli ambienti secondari d'angolo. In particolare in questi ultimi è stato possibile rilevare il distacco della facciata dalle strutture orizzontali. Al di sotto del matroneo è possibile notare fessure aventi orientamento orizzontale anche se di ampiezza nettamente inferiore alle precedenti. Si ipotizza l'indebolimento della muratura nell'area contenente le fessure proprio a causa dell'inserimento di questo elemento architettonico⁹.



Figura 6.19 – Lesioni associabili all'innesco del meccanismo di ribaltamento della facciata lungo il alto



Figura 6.20 – Lesioni associabili all'innesco del meccanismo di ribaltamento della facciata lungo l'angolo di sud-est.

⁹ Cfr. Sapienza Università di Roma, *Oratorio di san Giuseppe dei minimi: analisi dei danni causati dal terremoto del 6 Aprile 2009 al patrimonio culturale*, 30 Giugno 2009, pp. 26-31.



Figura 6.21 – Lesione orizzontale a livello della cantoria.



Figura 6.22 – Innesco di ribaltamento della facciata.



Figura 6.23 – Innesco di ribaltamento della facciata.

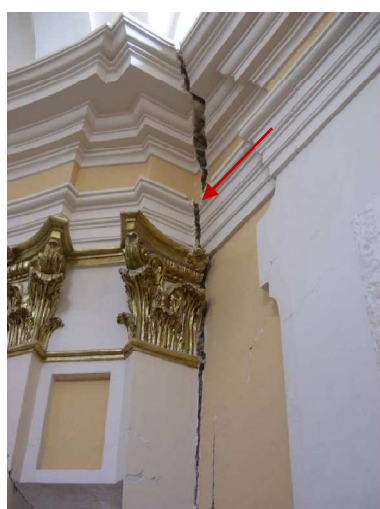


Figura 6.24 – Lesioni interne legate al ribaltamento della facciata.



Figura 6.25 – Lesioni interne legate al ribaltamento della facciata.

e.2_Meccanismo di taglio nelle pareti laterali, risposta longitudinale

L'esame del quadro fessurativo sulle murature laterali della chiesa, analizzato alla luce e congiuntamente al rilievo del meccanismo di fuori piano della facciata, ha permesso di identificare un comportamento della struttura caratterizzato da un moto globale in direzione longitudinale.

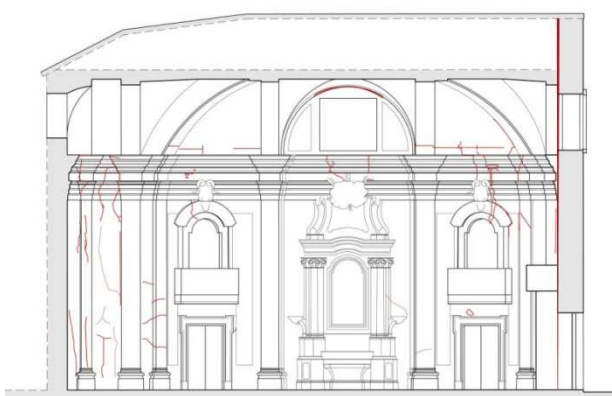


Figura 6.26 – Quadro fessurativo. Sezione longitudinale verso via degli Scardassieri.

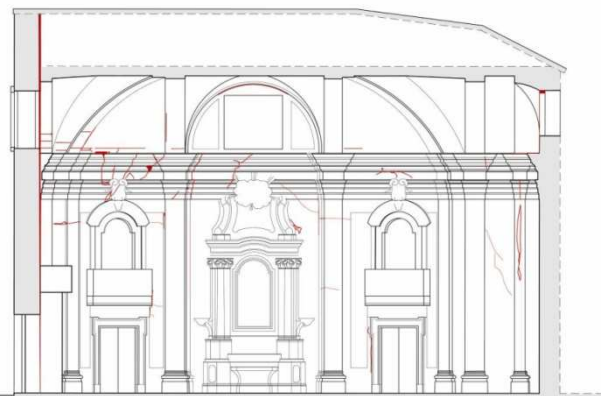


Figura 6.27 – Quadro fessurativo. Sezione longitudinale verso la chiesa di san Biagio.



Figura 6.28 – Fessurazione delle murature laterali destre.



Figura 6.29 – Fessurazione delle murature laterali sinistre.

e.3_Compportamento meccanico dell'abside

Altri dissesti molto marcati riguardano l'abside. Su questo elemento è possibile osservare un quadro fessurativo caratterizzato da lesioni con andamento verticale¹⁰.

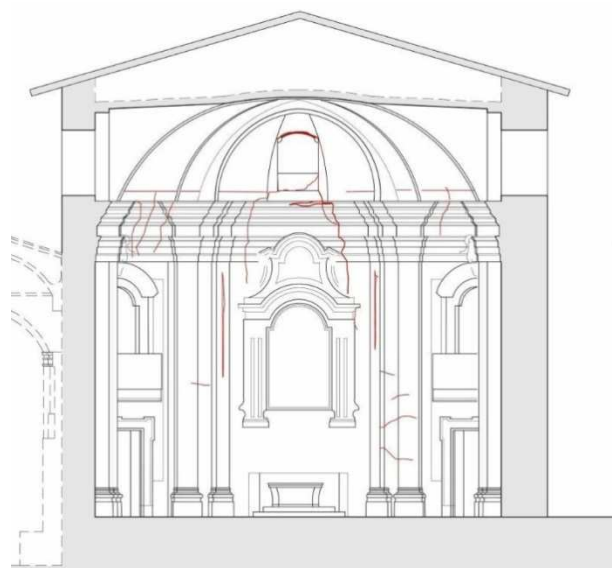


Figura 6.30 – Quadro fessurativo. Sezione trasversale verso l'abside.

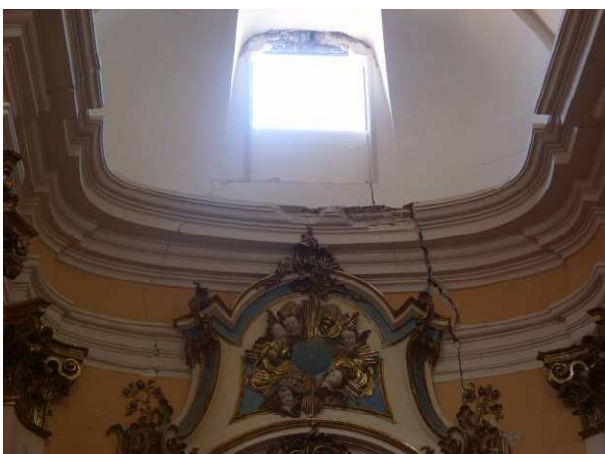


Figura 6.31 – Lesioni nella parete di fondo dell'abside.



Figura 6.32 – Lesioni nella parete di destra dell'abside.

¹⁰ Cfr. Sapienza Università di Roma, *Oratorio di san Giuseppe dei minimi: analisi dei danni causati dal terremoto del 6 Aprile 2009 al patrimonio culturale*, 30 Giugno 2009, pag 35.

f_ Caratterizzazione delle murature della chiesa di san Biagio.

f.1_ Caratterizzazione della muratura della controfacciata della chiesa di san Biagio.

La muratura della controfacciata è stata studiata e analizzata mediante l'impiego complementare di alcune tecniche diagnostiche; in particolare sono state impiegate:

- Prove termografiche;
- Prove soniche di trasparenza;
- Prove radar;
- Prova con martinetto piatto singolo;
- Prova con martinetto doppio;
- Ispezioni delle sezioni murarie;
- Carotaggi e video endoscopie;
- Verifica degli ammorsamenti;
- Caratterizzazione delle malte.

PROVA DI TERMOGRAFIA ATTIVA SB-TL1

La prova termografica SB-TL1 è stata condotta sulla controfacciata, previo riscaldamento attivo delle superfici, in modo da poter prendere in esame un'area considerevolmente ampia a sinistra dell'ingresso centrale della Chiesa. È stato possibile osservare la tessitura muraria della struttura di controfacciata e della parasta addossata alla parete stessa. Con riferimento alla muratura, l'indagine ha mostrato una tessitura muraria composta da blocchi di pietra squadrati disposti in modo da ottenere giunti di malta orizzontali piuttosto regolari e giunti verticali sfalsati. Nella parasta che affianca l'ingresso è invece possibile riconoscere blocchi di pietra regolari di discrete dimensioni alternati a corsi di laterizi (termogramma 2). Si nota, inoltre, la geometria di un elemento inglobato nella muratura ma caratterizzato da temperature differenti da quelle dei conci di pietra della controfacciata (termogramma 1): si presume, data la sua forma, che tale elemento un tempo fosse l'architrave di una precedente apertura, in seguito tamponata¹¹.

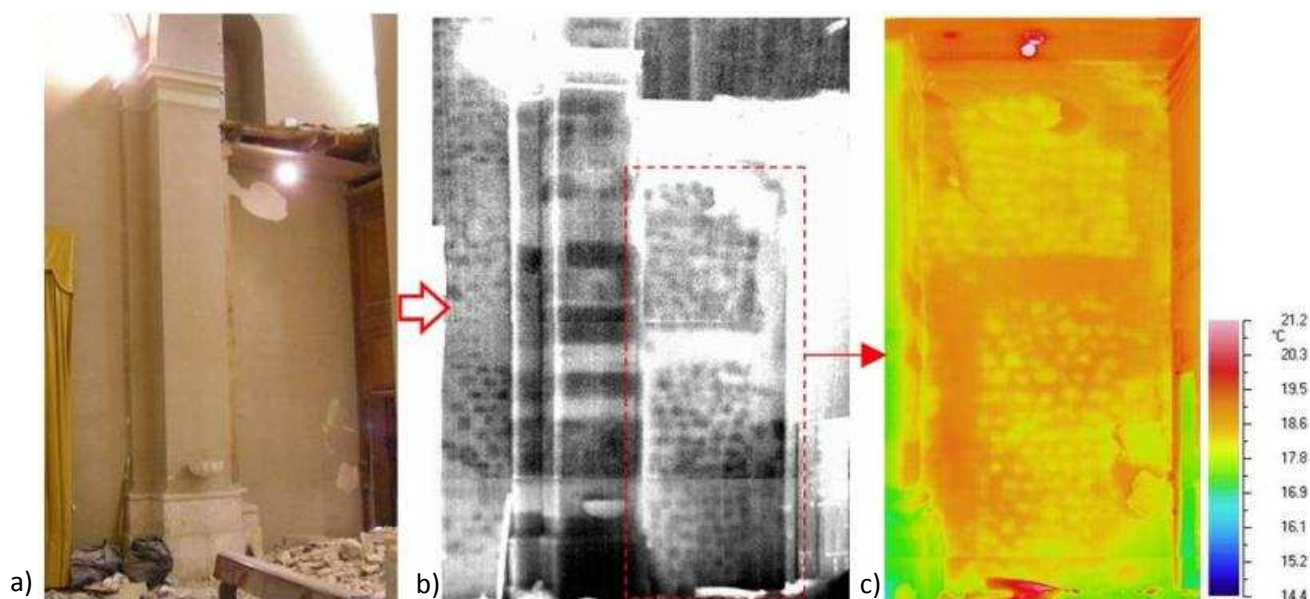


Figura 6.33 – risultati delle prove termografiche condotte sulla controfacciata: a) area esaminata con la termocamera; b) termografia ottenuta dalla mosaicatura dei singoli termogrammi acquisiti sull'area di prova; c) dettaglio dell'area che presenta un'apertura tamponata con relativo architrave.

¹¹ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila, Milano, Giugno 2010, pp 19-20.*

PROVA SONICA SB-SO1

La prova sonica è stata condotta riportando, su entrambi i lati della muratura, una maglia geometrica composta da 36 punti (6 righe e 6 colonne) distanti tra loro 15 cm, cercando di fare in modo che la loro congiungente ipotetica fosse perpendicolare alle superfici della muratura. La distribuzione delle velocità è risultata lievemente disomogenea con un valore medio di 1482,4 m/s, indice di una densità considerevole internamente alla sezione muraria. Non riscontrando valori prossimi alla propagazione delle onde elastiche nell'aria, si suppone la presenza di pochi vuoti¹².

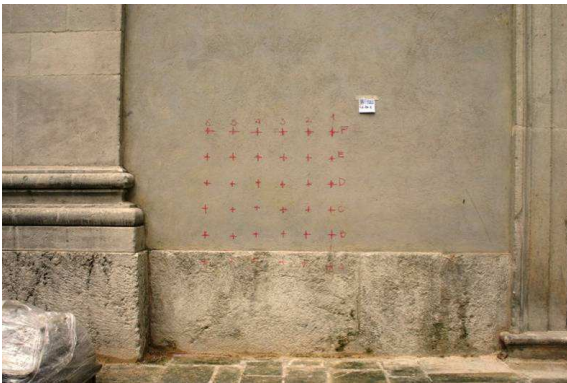


Figura 6.34 – Punti di prova sul lato esterno della muratura.

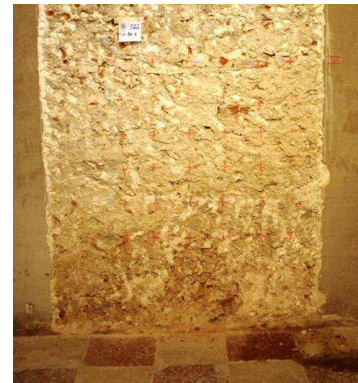


Figura 6.35 – Punti di prova sul lato interno della muratura.



Figura 6.36 – Emissione dell'impulso.



Figura 6.37 – Ricezione dell'impulso.

Per i dati ottenuti dalla prova si possono ritrovare tutti i valori nell'allegato 1. Di seguito vengono riportati i risultati in forma grafica.

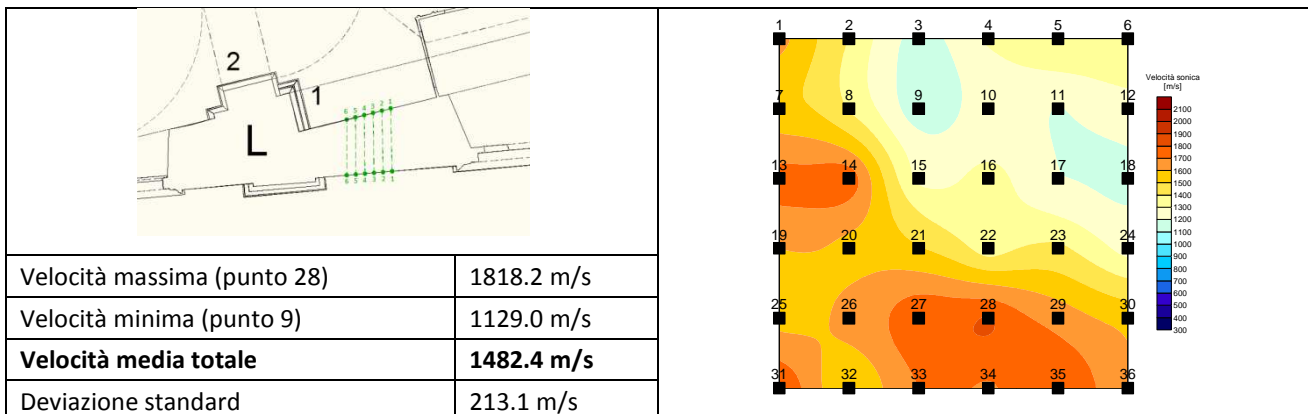


Tabella 6.1 – Sintesi dei risultati della prova sonica condotta sulle muratura della facciata.

¹² Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila*, Milano, Giugno 2010, pp 16-18.

PROVE RADAR

In corrispondenza delle prove precedentemente effettuate lungo le murature della facciata sono state eseguite anche le indagini radar a riflessione, utilizzando per l'acquisizione, profili verticali ed orizzontali. La prova è stata eseguita su entrambi i lati della parete.

Vengono illustrate le posizioni e le direzioni dei profili: le frecce indicano la direzione di acquisizione mentre i numeri identificano la sequenza di acquisizione dei profili.

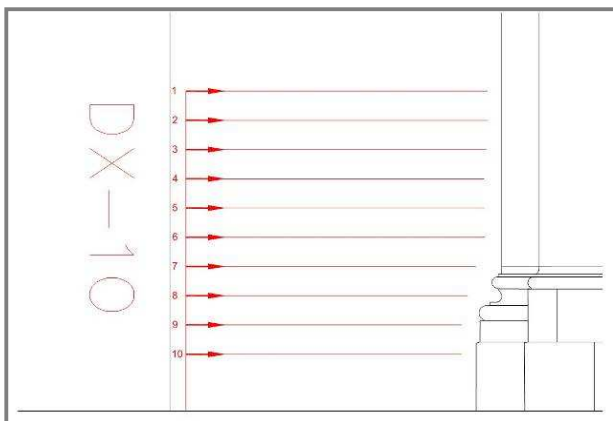


Figura 6.38 – localizzazione dei profili orizzontali alla destra dell'ingresso sinistro con distanza di 20cm l'uno dall'altro.

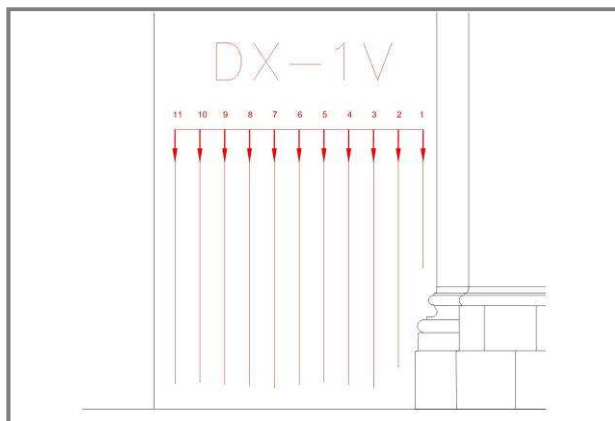


Figura 6.39 – Posizione dei profili verticali alla destra dell'ingresso con distanza di 20cm l'uno dall'altro.

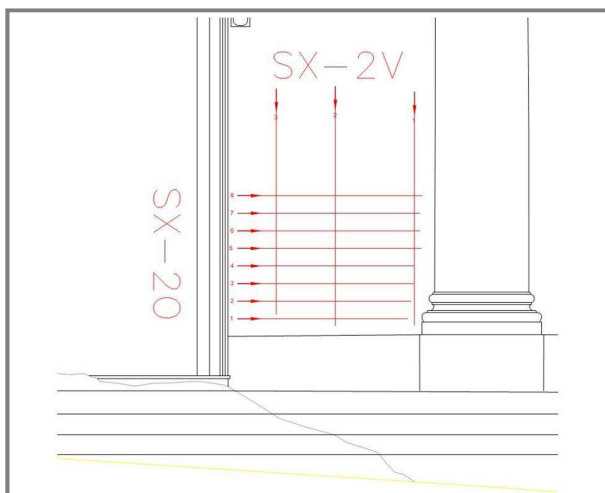


Figura 6.40 – Profili sulla facciata esterna, verticali ed orizzontali.

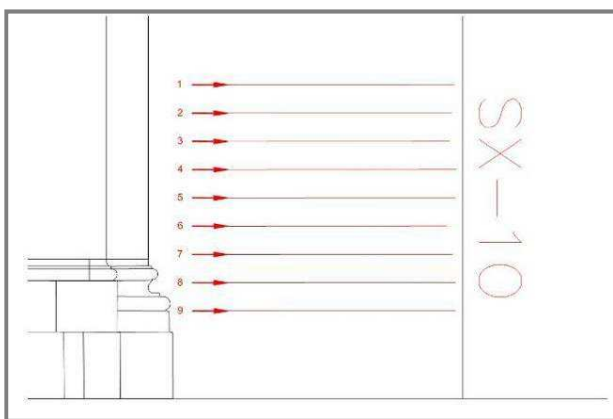


Figura 6.41 – Profili nella controfacciata esterna, a sinistra dell'ingresso con distanza di 20cm l'uno dall'altro.

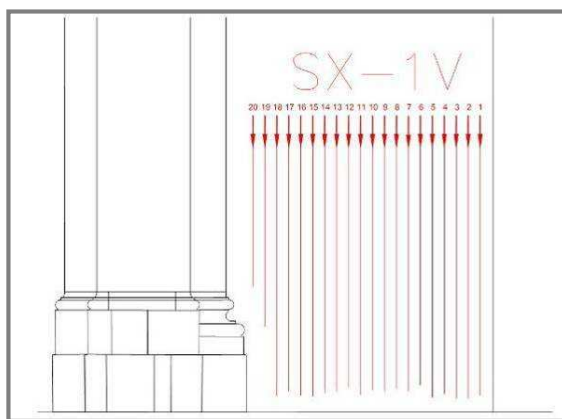


Figura 6.42 – Profili verticali della controfacciata a sinistra dell'ingresso. Questa prova è stata condotta intensificando il numero dei profili ponendoli ad una distanza di 10cm l'uno dall'altro.

Al fine di indagare l'intero spessore murario, mantenere una buona risoluzione verticale ed evitare riflessioni di piccola/media entità, è stata utilizzata un'antenna di media frequenza (600MHz della IDS). Le superfici scelte per le prove si presentano intonacate e prive di elementi che potrebbero interferire con il segnale, come ad esempio elementi metallici. L'obiettivo è quello di indagare la tessitura muraria al di sotto dell'intonaco e ricavare informazioni relative alla doppia muratura di facciata; in particolare si vuole verificare se la connessione tra le due murature (costruite in due periodi differenti) è costituita da un buon ammorsamento, da un semplice appoggio o se tra di loro è presente del vuoto.

I dati sono stati acquisiti mediante scansione di profili sia in direzione verticale che orizzontale in modo da ottenere la migliore complementarietà possibile dei dati. I dati raccolti sono stati successivamente elaborati dall'ingegnere S. Munda del Dipartimento di Ingegneria Strutturale, mediante un software sviluppato in ambiente Matlab del Politecnico di Milano, che consente l'elaborazione dei singoli profili, che possono essere rappresentati in immagini bidimensionali e tridimensionali. L'elaborazione è avvenuta attraverso un'elementare sequenza di processing ed è applicato un guadagno di tipo SEC (Spherical Exponential Compensation); tale procedura è stata eseguita per mettere in evidenza, nella fase di amplificazione del segnale, dati altrimenti non visibili perché soggetti ad attenuazione.

La muratura della controfacciata è stata caratterizzata attraverso la correlazione dei dati acquisiti su entrambi i lati della parete, in modo da ottenere una indagine pseudo-3D.

Ad una prima analisi è visibile nel background la disposizione dei mattoni e dei conci di pietra del paramento esterno con andamento quasi regolare. La porzione di muratura attigua alla pavimentazione è caratterizzata da un segnale molto attenuato e da una variazione di spessore: tali anomalie possono essere imputate alla presenza all'esterno di alcune lastre di rivestimento che possono influire sia sui profili orizzontali che su quelli verticali, oppure dalla forte presenza di umidità, che determinano la diminuzione della velocità dell'onda elettromagnetica nel momento in cui si sono convertiti i dati dai tempi (ns) alle profondità (cm), provoca un aumento apparente dello spessore del muro¹³.

L'interpretazione e la correlazione dei dati ha permesso di verificare lo spessore del paramento esterno che risulta essere costante (circa 30-40cm) e composto da mattoni e conci di pietra. Risultano molto evidenti i segnali generati dal fondo delle pietre.

Nella parte alta dell'area indagata si notano delle zone dove il segnale è riflesso con maggiore intensità. Questo potrebbe essere dovuto ad un eventuale distacco che interesserebbe la parte interna. Questa situazione è riscontrabile solo nella parte alta per la maggior parte dei profili della parte interna. Dai profili orizzontali della facciata esterna si nota come la situazione sia diversa. Lo strato di 30-40cm superficiale è ancora visibile, ma le riflessioni più energetiche si evidenziano ad una profondità più elevata, intorno ai 130-150cm.

L'analisi dei radargrammi consente di escludere che tra le due murature ci sia del vuoto. Sembra plausibile pensare che tra due murature, appartenenti a fasi costruttive diverse, siano state accostate¹⁴.

¹³ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila*, Milano, Giugno 2010, pp 92-95.

¹⁴ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila*, Milano, Giugno 2010, pag 95.

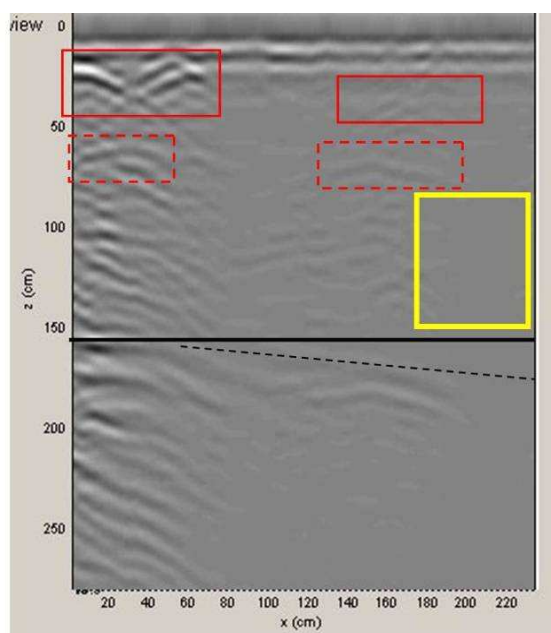


Figura 6.43 – Elaborazione dati. La figura presenta un profilo verticale (il terzo) dell'area della controfacciata a sinistra dell'ingresso. Si sono messi in evidenza i tratti caratteristici dell'interpretazione: i rettangoli rossi identificano delle riflessioni, che possono essere il fondo della pietra, tratti del paramento, distacchi...; il rettangolo giallo evidenzia la zona d'ombra del segnale vicino al pavimento; la linea nera orizzontale è il fondo del muro, ovvero la parete esterna della facciata; in linea tratteggiata mette in evidenza l'effetto dell'umidità sul seganle.

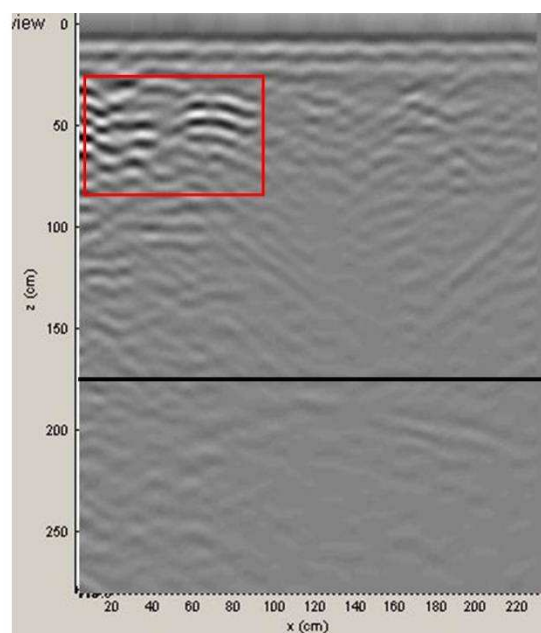


Figura 6.44 – Tredicesimo profilo della controfacciata. In questo caso il rettangolo rosso mette in evidenza le riflessioni energetiche che coinvolgono la parte superiore di quest'area. Tale fenomeno è riscontrato sia con i profili orizzontali sia con quelli verticali.

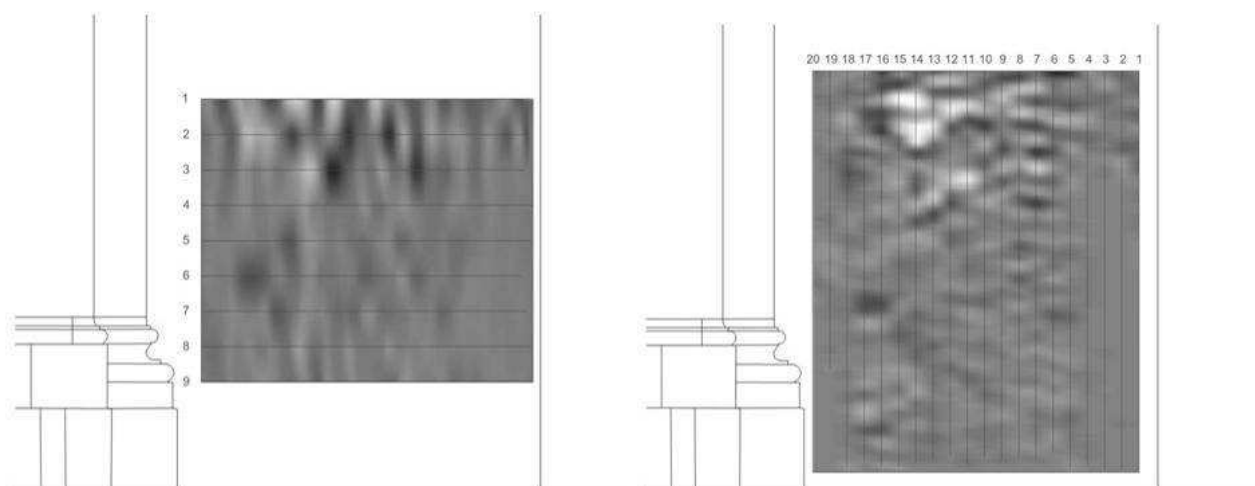


Figura 6.45 – Risultati dei profili orizzontali (a sinistra) e verticali (a destra) a profondità determinate. È possibile notare come nella parte alta di entrambi i radiogrammi sia presente un particolare fenomeno che potrebbe essere dovuto ad un lieve distacco, un eventuale riempimento con materiale grezzo e disomogeneo. Si esclude la possibilità di un distacco importante.

Un'altra serie di scansioni sulla muratura di facciata è stata realizzata sulla porzione destra della stessa. Come nella parte sinistra le acquisizioni effettuate sulla parte destra dell'ingresso sono dei pseudo 3D con profili ortogonali per essere certi di individuare, se presenti, eventuali target obliqui. La differenza rispetto la prova precedentemente descritta è che sono stati fatti profili solo nel alto interno della facciata in quanto lo spessore della muratura più ridotto dava una definizione sufficiente. Anche in questa serie di profili si legge nei segnali radar la presenza dell'umidità contenuta nelle murature: il segnale risulta opaco nella parte inferiore e si ha ancora l'effetto di ispessimento del muro.

Lo spessore del paramento è di circa 25-35cm, si notano bene le iperboli generate dall'alternarsi di mattoni e malta (rettangolo rosso, figura 6.46). I primi disturbi indicano la presenza di materiale minuto. Infatti sulla superficie esterna della muratura si nota una specie di incrocio¹⁵.

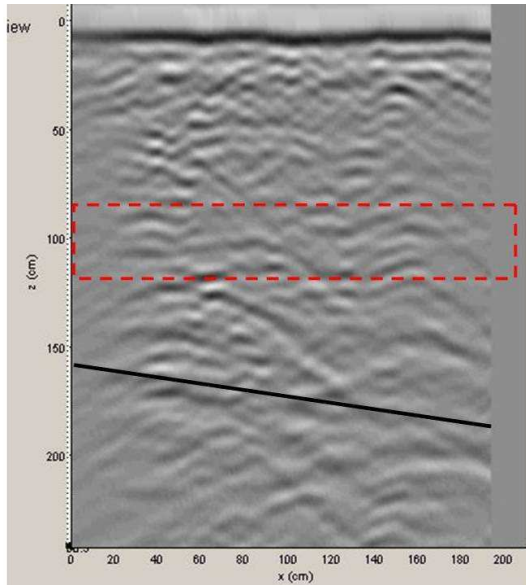


Figura 6.46 - Profilo orizzontale della facciata esterna. Si evidenzia il fondo muro della controfacciata (linea nera) e un'interessante riflessione a un metro di profondità. Questa sembra essere presente su tutti i profili della parte esterna.

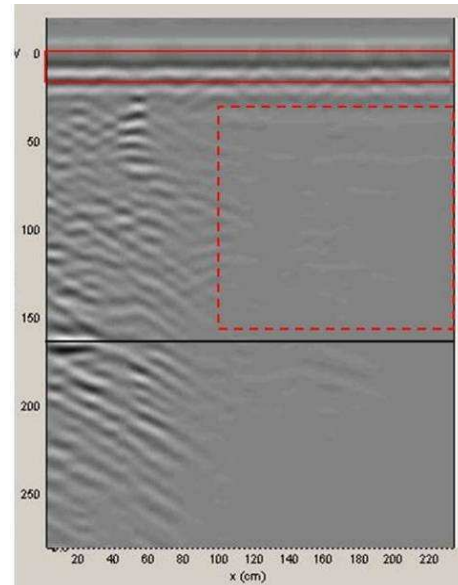


Figura 6.47 - Profilo a destra dell'ingresso, nella controfacciata. Questo rappresenta un profilo verticale, nel triangolo rosso tratteggiato è evidenziata la zona d'ombra. Il segnale è, per la maggior parte, assorbito e attenuato.

PROVA CON MARTINETTO SINGOLO SB-J15

In corrispondenza dell'ubicazione delle prova sonica SB-SO1 è stata condotta la prova con martinetto singolo sul lato interno della muratura della facciata. Mediante sega circolare a disco eccentrico a lama diamantata si è eseguito il taglio, ove inserire poi lo strumento, ad un'altezza di circa 57 cm dal piano di calpestio.



Figura 6.48 - Esecuzione del taglio nella muratura.



Figura 6.49 - Esecuzione della prova .

I dati acquisiti dall'esecuzione della prova sono consultabili nell'allegato 2.

¹⁵ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila, Milano, Giugno 2010, pag 96.*

A causa delle dimensioni considerevoli dei conci di pietra in cui è stato eseguito il taglio trasduttori di spostamento hanno registrato spostamenti minimi dopo l'esecuzione del taglio, indice di elevata rigidità dell'apparecchio murario confermato anche dai risultati delle indagini soniche effettuate nel medesimo punto. Questa condizione però non ha consentito il regolare svolgimento della prova: le basi 1 e 2, per il controllo degli spostamenti in funzione della pressione applicata nel martinetto, non hanno fornito indicazioni corrette e pertanto non sono state utilizzate per il calcolo dello stato di sforzo¹⁶.

Base n.	Sforzo (N/mm ²)
1	-
2	-
3	0.08
4	0.06
Sforzo medio	0.07

Tabella 6.2 – Valori di ripristino calcolati con la prova SB-J1S.

Ipotizzando di considerare un'area della muratura avente una larghezza pari ad un metro ed una profondità pari a quella della facciata (in media 95 cm), è possibile stimare a che carico supposto uniformemente distribuito, questa sia soggetta ponendo le seguenti condizioni:

- altezza della muratura, interrotta alla quota del crollo avvenuto in facciata, pari a 12,26 m;
- peso specifico ipotetico pari a 2300 Kg/cm³ (con la possibilità di un valore anche inferiore data la presenza di corsi di mattoni).

Lo sforzo a cui sarebbe soggetta quest'area della muratura sarebbe quindi pari a 2.81 Kg/cm², corrispondente a circa 0.28 N/mm². Occorre però tenere in conto che la muratura su cui si sono eseguite le prove è l'originale, davanti alla quale è stato costruito un secondo muro di facciata per seguire l'andamento della strada. Molto probabilmente è su questo secondo muro che grava la maggior parte dello sforzo dovuto al peso proprio, se non esistono collegamenti trasversali tra i due muri. Per cui è necessario un controllo sulla sezione muraria della facciata¹⁷.

PROVA CON DOPPIO MARTINETTO SB-J1D

Successivamente alla prova con martinetto singolo è stata eseguita la prova con doppio martinetto praticando un secondo taglio nel muro, parallelo a quello impiegato per la precedente prova con martinetto singolo, ad una distanza da questo di circa 86 cm. Per rilevare gli spostamenti, tra i due tagli sono stati disposti 4 trasduttori di spostamento verticali ed uno per lo spostamento orizzontale.

La prova, condotta fino a raggiungere uno sforzo massimo pari a 0.99 N/mm², mostra una muratura sufficientemente rigida in direzione verticale, i cui elementi costitutivi sviluppano forme d'ingranamento efficaci, in risposta alla sollecitazione di compressione. La dilatazione trasversale pari a 0.4 dimostra invece una notevole deformabilità in

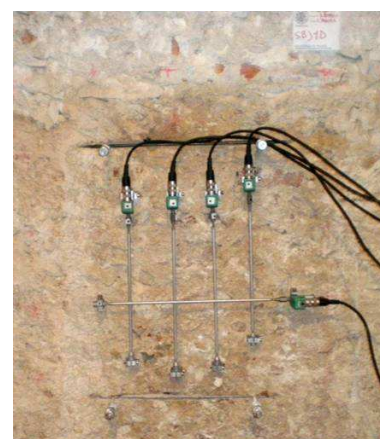


Figura 6.50 - Trasduttori LVDT applicati alla muratura.

¹⁶ Nell'allegato 2 è possibile ritrovare i valori ottenuti dalla loro prova e i grafici relativi all'andamento delle distanze tra le basi di misura in funzione dello sforzo applicato.

¹⁷ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila*, Milano, Giugno 2010, pag 23.

quella direzione. Il diagramma sforzi-deformazioni ottenuto dalla prova è riportato nell'allegato 3¹⁸. L'andamento delle deformazioni verticali è stato sostanzialmente simile per tutti i trasduttori impiegati nella prova. E' quindi stato possibile calcolare una curva media tra i 4 trasduttori verticali di spostamento e costruire su di essa una curva di involuppo, in modo da riuscire a calcolare il modulo elastico tangenziale. Nel grafico e nella tabella seguente vengono riportati i valori che definiscono le proprietà tenso-deformative di questo pannello murario.

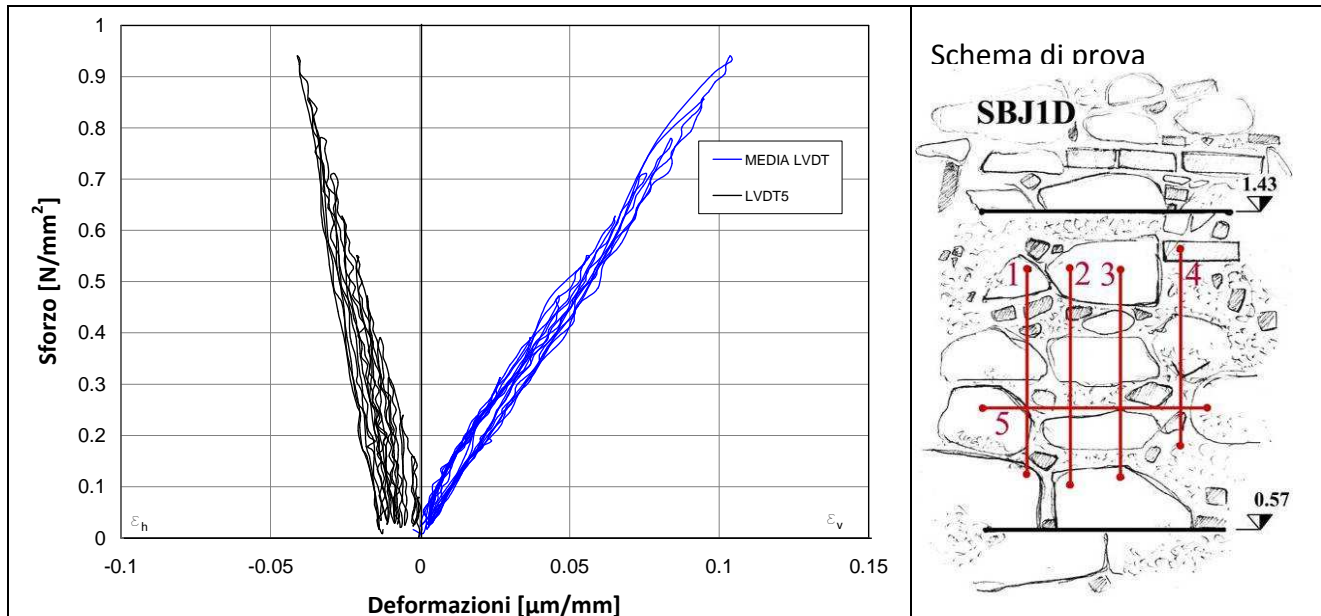


Grafico 6.1 – Prova martinetto doppio SB-J1D. Grafico sforzi-deformazioni ottenuto dalla media dagli LVDT 1, 2, 3, 4 e 5.

LVDT	Intervallo elastico [N/mm ²]	Modulo Elastico [N/mm ²]	Coeff. di dilatazione trasversale
Media 1, 2, 3, 4	0.17 – 0.80	9099	0.40

Tabella 6.3 – Modulo elastico e coefficiente di dilatazione trasversale ottenuti dalla prova SB-J1S.

ISPEZIONE DELLA SEZIONE MURARIA

A seguito di tutte le analisi precedente condotte si è scelto di eseguire l'ispezione diretta della sezione muraria asportando alcuni elementi lapidei all'altezza del secondo taglio eseguito per condurre la prova con martinetto doppio SB-J2D. Nelle figure seguenti viene mostrata la tessitura muraria rilevata in corrispondenza della controfaciata. La muratura risulta essere formata da pietre di notevoli dimensioni intervallate da pietre più piccole, mattoni e frammenti di laterizi utilizzati come zeppe. Lo smontaggio parziale dell'apparecchio murario per l'ispezione della sezione è stato difficoltoso a causa della presenza di conci di pietra efficacemente ammorsati tra loro e legati da una malta da allettamento molto tenace. A causa della presenza di conci di pietra stretti e ben sviluppati in profondità, lo smontaggio non ha superato i 30 cm di profondità¹⁹.

¹⁸ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila*, Milano, Giugno 2010, pp. 22-24.

¹⁹ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila*, Milano, Giugno 2010, pp. 25-26.



Figura 6.51 - Smontaggio parziale della muratura in corrispondenza del taglio superiore della prova SB-J1D.

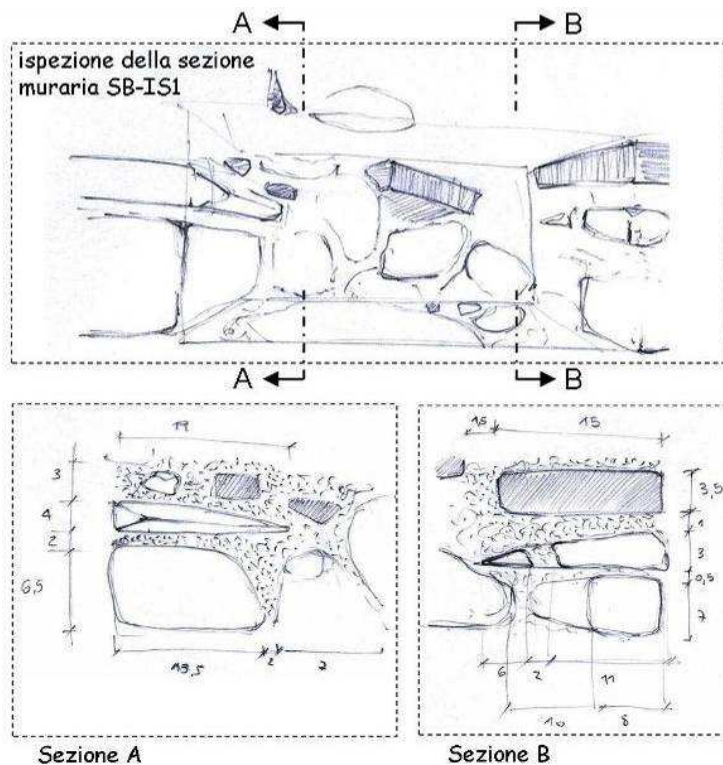
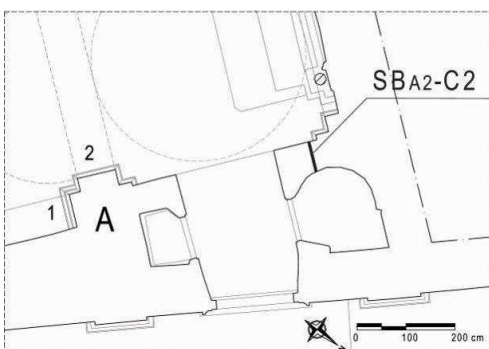


Figura 6.52 - Schizzi illustranti la tessitura muraria rilevata dopo l'esecuzione dello smontaggio parziale della muratura.

CAROTTAGGIO SB-A''-C2 E VIDEOENDOSCOPIA SB-A''-C2



A completamento delle analisi stratigrafiche condotte su questo elemento architettonico si è eseguito un carotaggio e, a seguito di questo, una video endoscopia per indagare la stratigrafia della sezione muraria. Dall'osservazione del foro ottenuto dal carotaggio passante SB-A''-C2 condotto nell'angolo ovest della controfacciata (60cm), si nota una

Figura 6.53 - Localizzazione della prova.

tessitura composta da conci di pietra esterni regolari che contiene all'interno conci di più piccole dimensioni.



Figura 6.54 – Esecuzione della videoendoscopia.



Figura 6.55 - Vista endoscopica.

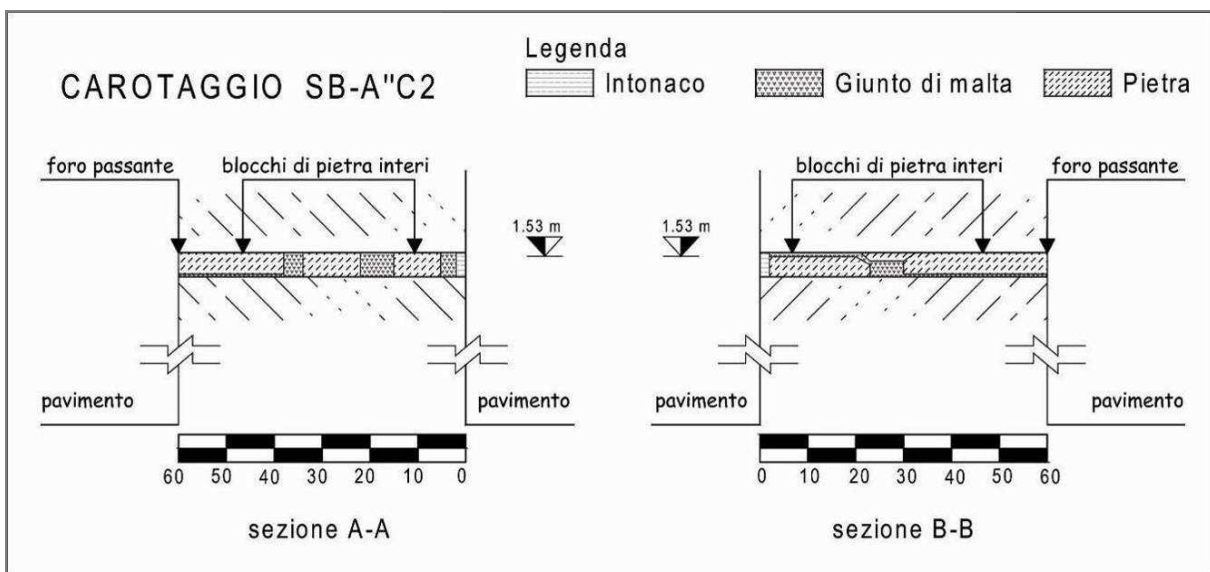


Figura 6.56 - Schema della stratigrafia ottenuta dalla video endoscopia SB-A''-C2.

VERIFICA AMMORSAMENTO AQ-SBA4



Figura 6.57 –Ammorsamento AQ-SBA4

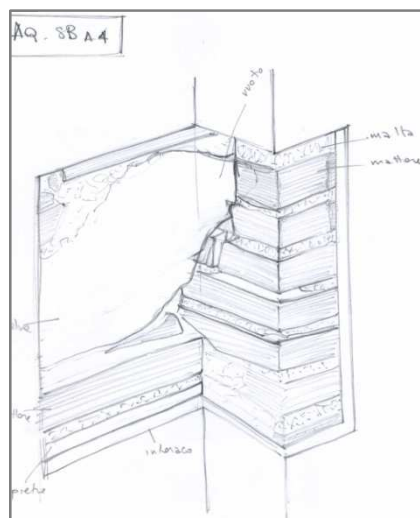


Figura 6.58 – Analisi Ammorsamento

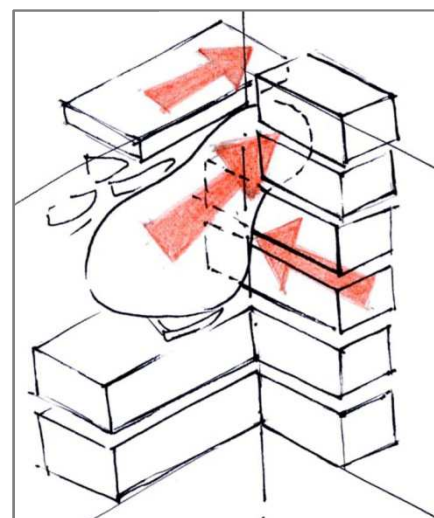


Figura 6.59 – Verifica Ammorsamento

Dall'analisi dell'ammorsamento AQ-SB –A4, si può notare una muratura costituita da pietre sbazzate e mattoni. Gli elementi laterizi costituenti la lesena paiono ben ammorsati con l'elemento lapideo e i mattoni costituenti la muratura di facciata denunciando quindi una valida connessione²⁰.

VERIFICA AMMORSAMENTO AQ-SBA5



Figura 6.60 –Ammorsamento AQ-SBA5.

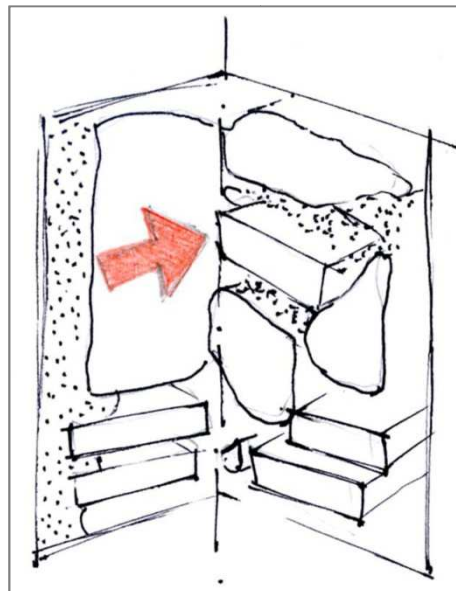


Figura 6.61 – Verifica Ammorsamento.

La verifica dell'ammorsamento AQ-SB –A5, mette in evidenza una muratura costituita da pietre sbazzate e mattoni; la muratura della controfacciata sembra ben ammorsata alla lesena realizzata anch'essa con pietre sbazzate e mattoni²¹.

CARATTERIZZAZIONE DELLE MALTE

L'analisi chimica eseguita sui campioni di malta, curata dall'architetto C. Tedeschi, indica un legante a base di calce aerea e un aggregato prevalentemente calcareo per il 95%²². La pietra utilizzata è calcarea.



²⁰ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila*, Milano, Giugno 2010, pp. 121-122.

²¹ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila*, Milano, Giugno 2010, pag. 123.

²² Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione interpretativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila*, Milano, Giugno 2010, pag. 13.

Dalle sezioni del campione di malta SC1, si osserva una buona distribuzione granulometrica, e una buona aderenza dell'aggregato al legante. In questo caso, la presenza di piccoli vuoti è dovuta al campionamento. L'aggregato ha una granulometria media che va da 0 a circa 5,5 mm²³.

COMMENTI AI RISULTATI

Dall'analisi dei risultati delle prove diagnostiche eseguite sulle murature della controfacciata è possibile dedurre che la tessitura muraria è composta da blocchi di pietra squadrati, disposti in modo da ottenere dei giunti orizzontali regolari e dei giunti verticali sfalsati tra loro, il tutto visibile mediante l'**indagine termografica** ma confermato e ampliato nello studio in profondità dalla **tecnica radar**, la quale ha permesso di confermare la presenza di un doppio muro in facciata, come suggerito dai documenti storici presi in considerazione, e di definire la composizione della controfacciata: osservando più in profondità la presenza di elementi di piccole dimensioni misti a malta, successivamente è stato individuato una specie di intonaco piuttosto spesso collocato sotto l'intonaco esterno più fine. Come ultima stratigrafia si nota la presenza di elementi di dimensioni maggiori. Dalla lettura del segnale radar si può definire una muratura ben compatta anche nei punti in cui lo spessore della muratura stessa risulta essere doppio a causa dell'aggiunta della muratura più esterna. Non sembrano presenti separazioni marcate o vuoti tra le due murature cronologicamente differenti (vuoti probabilmente riempiti con pietre più piccole e malta). Anche le **prove soniche** confermano quanto sostenuto a proposito del collegamento tra le due murature in quanto i risultati della prova mostrano una distribuzione discretamente omogenea delle velocità con valore medio di 1482.4 m/s, il che indica una densità sostanzialmente elevata escludendo la presenza di vuoti interni al paramento stesso. Infatti a seguito delle informazioni fornite dall'**ispezione diretta della sezione muraria** è stato nuovamente confermato quanto precedentemente dedotto mostrando una sezione priva di discontinuità, con una malta di allettamento molto compatta in grado di resistere al prelievo con martello e scalpello. Inoltre, a causa della presenza di conci di pietra, seppur piccoli ma ben sviluppati in profondità, non si è riusciti a smontare l'apparecchiatura oltre i 30 cm di profondità. Anche il **carotaggio** e la **video endoscopia** effettuati hanno potuto confermare la presenza di una tessitura composta da conci di pietra esterni di dimensioni maggiori e più regolari che contengono all'interno pietre e materiale lapideo di dimensioni inferiori, mentre le **verifiche degli ammorsamenti** mettono in luce una valida connessione tra la muratura della facciata e gli elementi ad essa addossati (come ad esempio le paraste)²⁴.

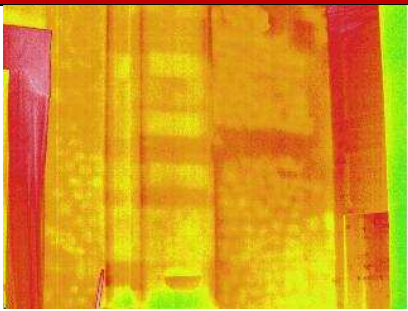
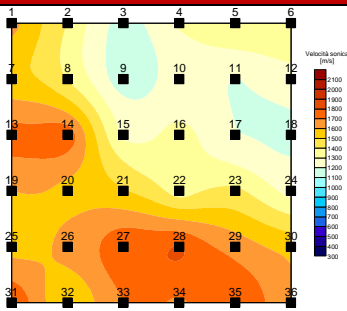
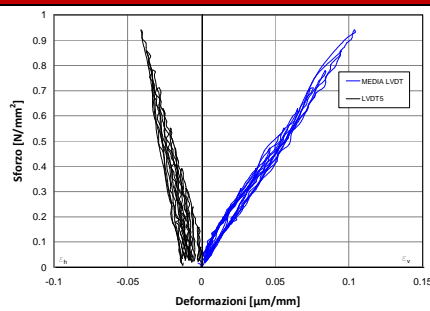
Analisi con termografia	Prova sonica	Prova con martinetti doppi
		
Tessiture murarie differenti	Media velocità = 1482.4 m/s	Modulo elastico = 9099 N/mm²

Tabella 6.4 – Corrispondenza tra le prove termografiche, soniche e con martinetti doppi.

²³ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione interpretativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila*, Milano, Giugno 2010, pag. 13.

²⁴ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione interpretativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila*, Milano, Giugno 2010, pp. 11-16.

Non avendo ottenuto un risultato significativo con la prova a ***martinetto piatto singolo***, è possibile condurre una stima del carico agente sulla struttura. Ipotizzando di considerare un'area della muratura avente 1 m di larghezza e profondità pari a quella reale della controfacciata, in media di 95 cm, è possibile stimare che, rispettando le condizioni dell'altezza della muratura di 12.26 m – altezza a cui si è verificato il crollo in facciata – e un peso specifico ipotetico della muratura stessa pari a 2300 Kg/cm^3 – potenzialmente anche più basso grazie alla presenza dei corsi di mattoni – lo sforzo a cui sarebbe soggetta questa porzione di muratura corrisponderebbe a 2.81 Kg/cm^2 , cioè a circa 0.28 N/mm^2 . Nonostante questo risultato, grazie alla prova con martinetti doppi, è stato individuato un valore di modulo elastico di 9099 N/mm^2 , valore piuttosto alto per una muratura di questa natura, indice – come già dedotto dalla ricerca sonora – di una muratura sostanzialmente compatta²⁵.

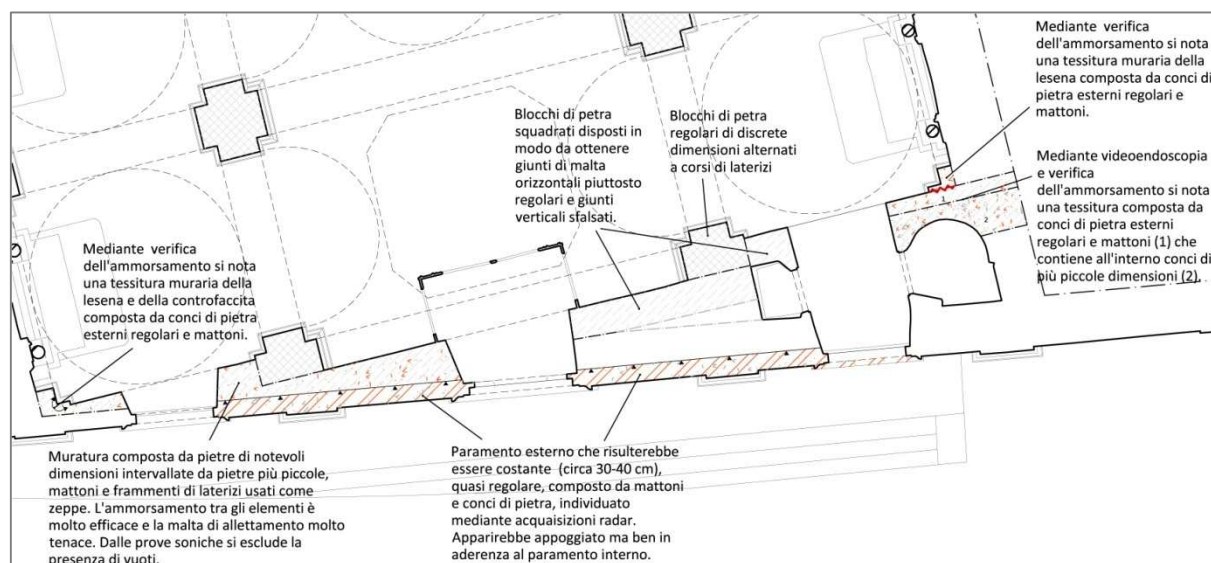


Figura 6.63 – Schema esemplificativo delle deduzioni tratte dalle analisi diagnostiche.

A conclusione dell'indagine sulla controfacciata si può sostenere che tale elemento sia stato costruito con un efficace assemblaggio dei conci di pietra, uniti da una sapiente combinazione di zeppe lapidee e malte confezionate con cura.

f.2_Caratterizzazione della muratura dell'abside della chiesa di san Biagio.

La muratura absidale, ritenuta dalle analisi storiche precedentemente condotte (si veda capitolo 2 paragrafo a.2) come la più antica, è stata studiata e analizzata mediante l'impiego complementare di moltissime tecniche diagnostiche; in particolare sono state impiegate:

- Prove di termografia attiva;
- Prove soniche;
- Prove radar;
- Prova con martinetto piatto singolo;
- Prova con martinetti piatti doppi;
- Ispezioni della sezione;
- Verifica degli ammorsamenti;
- Caratterizzazione delle malte.

²⁵ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione interpretativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila*, Milano, Giugno 2010, pag. 12.

PROVE TERMOGRAFICHE SB-TF1, SB-TF2 e SB-TE1.

Sulle murature absidali sono state condotte diverse prove termografiche, eseguite in corrispondenza delle murature dell'abside centrale e dell'abside laterale est. I due paramenti indagati presentano tessiture murarie differenti tra loro.

Sulla muratura absidale est si può riconoscere una tessitura composta da conci di pietra di dimensioni irregolari, ma correttamente disposti lungo piani di posa regolari. Le paraste sono invece formate da blocchi squadrati di pietra intervallati da uno o due corsi di laterizi.

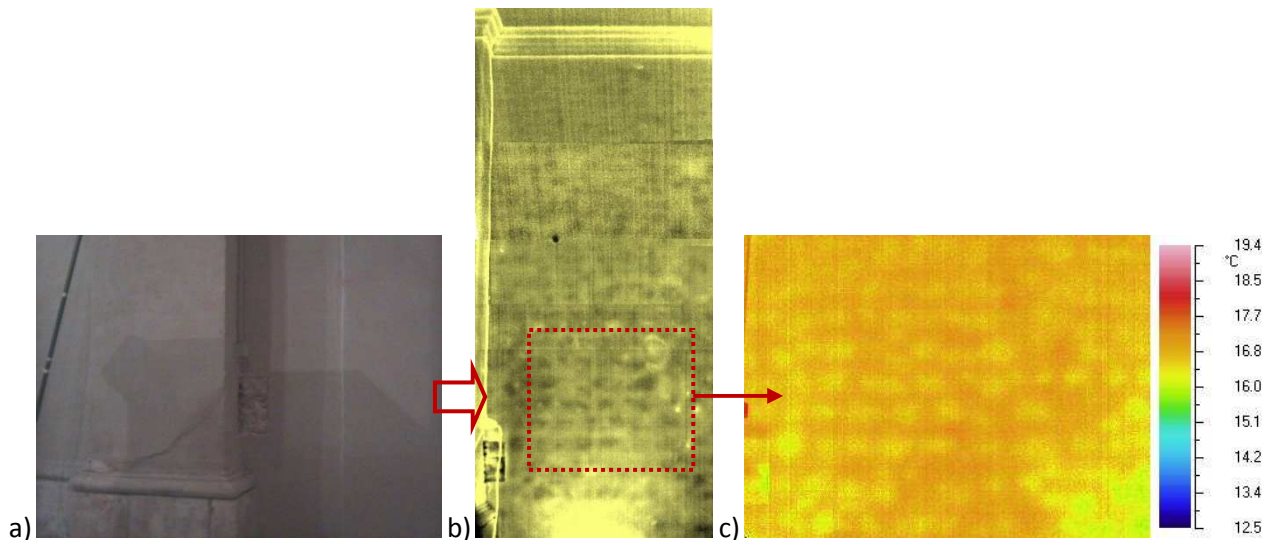


Figura 6.64 – Termografia attiva sulle murature ovest dell'abside, prove SB-TF1 e SB-TF2.

Per quanto riguarda la muratura centrale dell'abside si sono riscontrate, durante l'esecuzione della prova, diverse alterazioni che hanno determinato gradienti di temperatura differenti e interferendo con il risultato stesso della prova, tanto da non renderla efficace. Si ritiene che la problematica principale nel creare questi disturbi sia stata la presenza di umidità interna alla muratura²⁶.

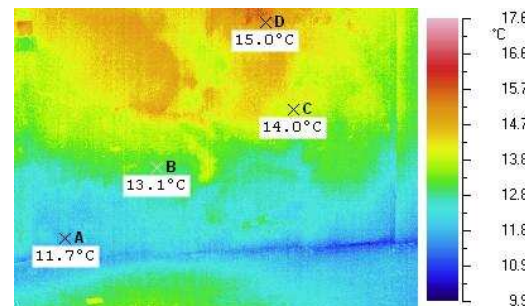


Figura 6.65 – Termografia attiva sulla muratura centrale dell'abside, prova SB-TF2.

Un'altra prova termografica è stata condotta sulla muratura est dell'abside minore adiacente alla sagrestia. L'esecuzione del test ha dato buoni risultati, riuscendo a mostrare la tessitura muraria composta da elementi lapidei. Si riesce inoltre a visualizzare anche un'area stretta ed alta con una temperatura maggiore che indica un distacco dell'intonaco dal supporto. In oltre a quanto già descritto si nota una sagoma geometrica quadrangolare al di sopra della modanatura²⁷.

²⁶ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila*, Milano, Giugno 2010, pp. 27-31.

²⁷ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila*, Milano, Giugno 2010, pag. 30.

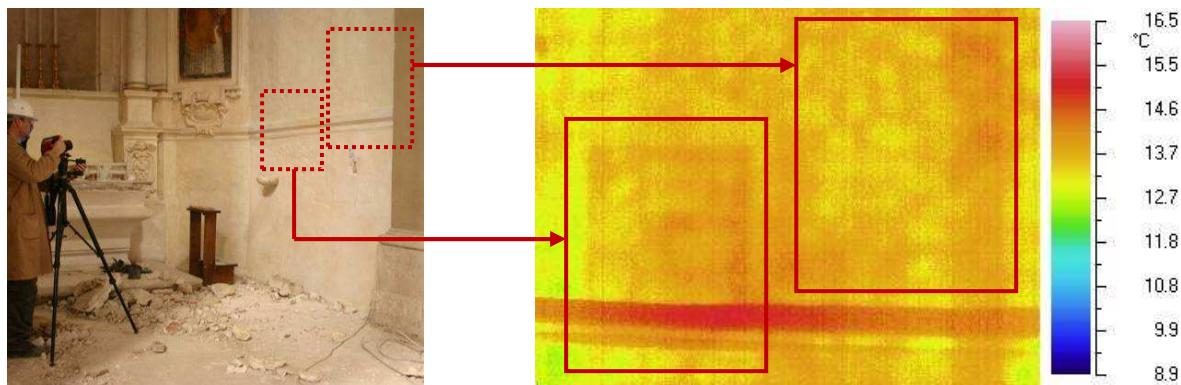


Figura 6.66 – Termografia attiva sulla muratura ovest dell’abside minore adiacente alla sagrestia, prova SB-TE1.

PROVA SONICA SB-SO2

Sulla muratura est dell’abside è stata condotta la prova sonica in trasparenza SB-SO2. Anche in questo caso, prima di eseguire l’indagine si è riportata su entrambi i lati della parete una maglia geometrica composta da 36 punti formata da 6 righe e 6 colonne, distanti tra loro 15 cm, facendo attenzione che avessero tutti la medesima quota in modo la congiungente ipotetica tra i punti fosse perpendicolare alle superfici.

Nelle tabelle contenute nell’allegato 4 sono riportati i risultati: il primo schema contiene le velocità ottenute per ciascun punto di prova e il secondo le restituzioni dei dati per mezzo di istogrammi e grafici di superficie.

La distribuzione delle velocità risulta essere disomogenea con un valore medio di 1332.3 m/s, ma non si riscontrano valori prossimi alla propagazione delle onde elastiche nell’aria²⁸.

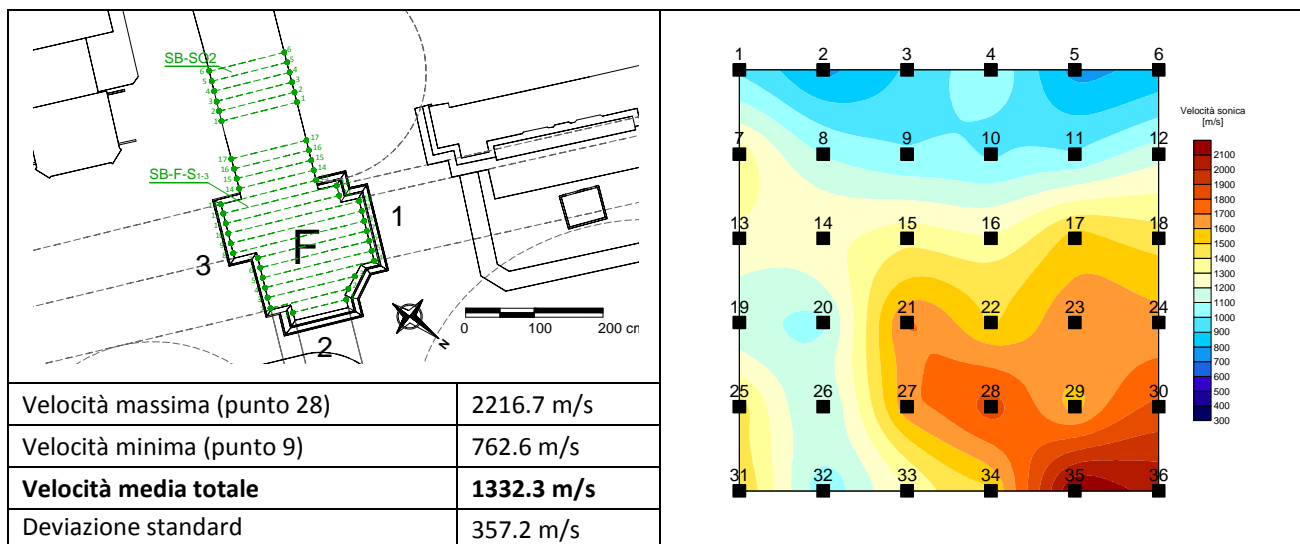


Tabella 6.5 – Sintesi dei risultati della prova sonica condotta sulle muratura della facciata.

²⁸ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca “prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L’Aquila*, Milano, Giugno 2010, pp. 31-33.

PROVE RADAR

Le murature dell'abside sono state indagate anche tramite indagini radar per verificare l'ipotizzata presenza di due murature, una trecentesca più esterna ed una più recente interna, e verificare la presenza di un ammorsamento fra le due. Per raggiungere tale scopo sono state effettuate acquisizioni su entrambi i lati dell'abside.

Sul lato destro dell'abside, sono stati acquisiti 3 profili (volumi) 3D con il sistema PSG e antenna ad alta frequenza da 2GHz, i cui dati sono ancora in fase di studio. Da una prima analisi i risultati non sono incoraggianti, a causa della presenza di un'elevata umidità della parete. Sul lato sinistro della muratura dell'abside, a destra della lesena fin sotto la finestra, sono stati eseguiti profili con antenna da 600MHz, sia per evidenziare la struttura muraria, sia per confermare lo spessore del muro che separa la stanza di servizio dell'oratorio di S. Giuseppe dalla chiesa di S. Biagio.

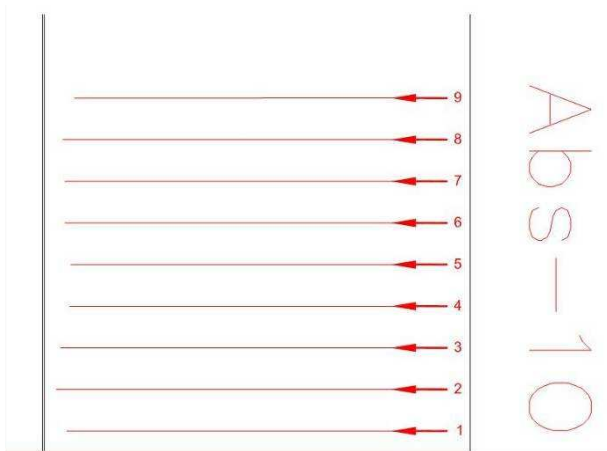


Figura 6.67 - Localizzazione e schematizzazione profilo Abs-10

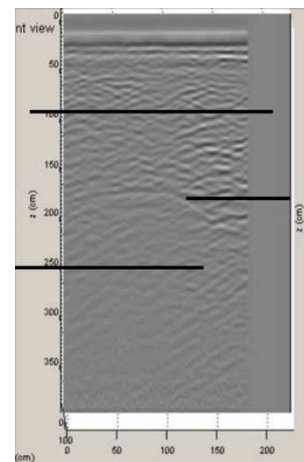


Figura 6.68 - Profilo Abs-10.

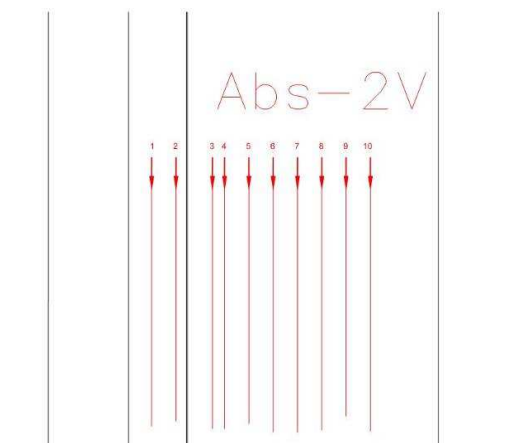


Figura 6.69 - Localizzazione e schematizzazione del profilo Abs-2v.

Dal primo profilo del gruppo Abs 10, si può osservare lo spessore del paramento avente una profondità regolare di 30-40cm. Si osserva inoltre una riflessione continua e profonda a 100cm e una sezione più discontinua tra i 40 e i 100cm. Dal quarto profilo dell'acquisizione orizzontale di ABS-10, si osserva a circa 170-180 cm, una riflessione più energetica, che potrebbe essere il fondo muro. Nella parte finale del profilo, tra i 130 e i 170cm sull'asse orizzontale, si può notare una forte riflessione, con molta probabilità si è individuata la nicchia presente nella muratura dell'oratorio di S.Giuseppe²⁹.

Successivamente al primo gruppo di acquisizioni sulla parete di fondo dell'abside si è proceduto ad eseguire un

altro gruppo di profili lungo la lesena collocata nell'angolo tra la parete di fondo dell'abside e quella alla sua sinistra. I primi due profili del nuovo gruppo, nominato Abs-2V, sono stati realizzati in verticale sulla lesena. Durante l'acquisizione si è cercato di individuare la presenza della nicchia presente nella muratura dell'oratorio di S. Giuseppe. Questa indagine è stata utile anche per verificare in situ la possibilità di

²⁹ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila, Milano, Giugno 2010, pag. 101.*

effettuare una prova con martinetto piatto. L'elaborazione dei dati del primo profilo verticale Abs-2v (figura 6.70), realizzato sulla lesena di sinistra dell'abside, ha messo in evidenza la profondità dei conci, rispettivamente di 50 cm, e l'alternanza del segnale superficiale corrispondente ai vari corsi. Lo spessore della muratura in questo punto risulta essere di 190 cm circa nella parte alta. Nella parte finale del profilo, si è andati ad intercettare la nicchia, che genera una forte riflessione, ma anche un segnale "spurio" con riflessioni in aria. L'elaborazione dei dati del quarto profilo verticale Asb-2v (figura 6.71), realizzato sulla lesena di sinistra dell'abside mette in evidenza uno spessore che sembra essere 190cm-200cm³⁰.

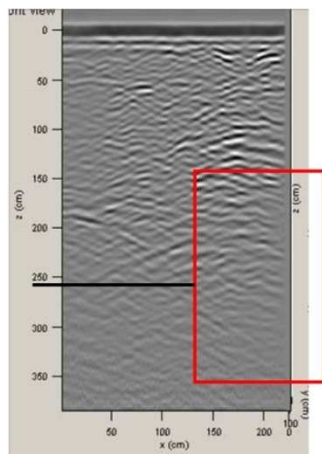


Figura 6.70 - Primo profilo Abs-2v.

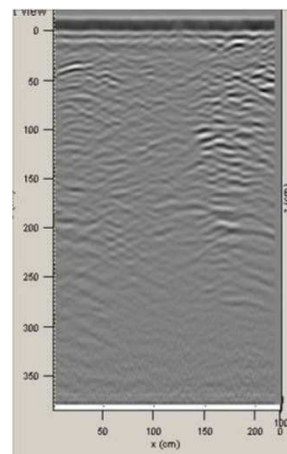


Figura 6.71 - Quarto profilo Abs-2v.

Infine sono state eseguite delle scansioni anche sulla muratura sinistra del catino absidale. Il primo profilo di questo gruppo, Abs-3V, mette in evidenza una probabile muratura a sacco. Ben evidente è lo spessore della muratura, di circa 110 e i 120cm.

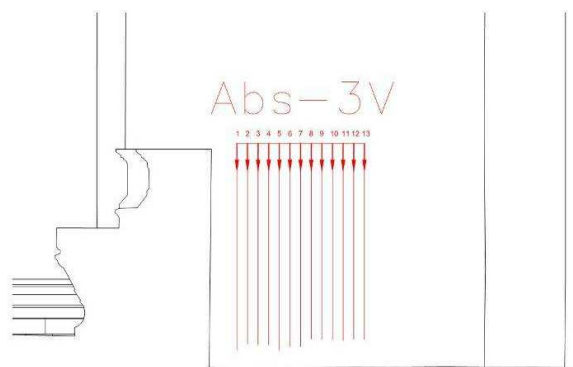


Figura 6.72 - Localizzazione e schematizzazione profilo Abs-3v.

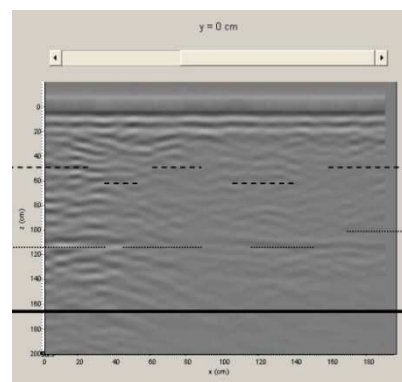


Figura 6.73 - Profilo Abs-3v.

Allo scopo di verificare la presenza di un muro trecentesco esterno dietro l'abside, esattamente sul prospetto esterno della chiesa corrispondente alla zona absidale in analisi è stato effettuato un unico profilo, con l'antenna da 600MHz della IDS, per studiare sia la struttura muraria, che le zone di unione del vecchio muro trecentesco con la chiesa. L'area da indagare si presenta con la tipica tipologia detta "aquilana" con pietre di medie dimensioni e piuttosto regolari. Questo crea una superficie non proprio liscia, che crea disturbi nel segnale di background dell'antenna.

³⁰ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila, Milano, Giugno 2010, pp. 102-103.*

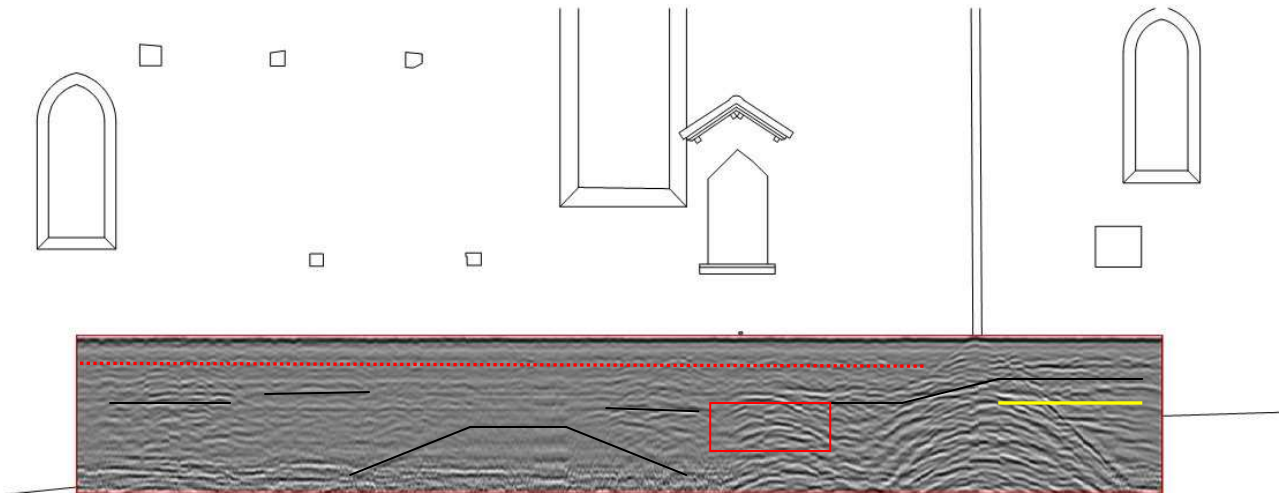


Figura 6.74 – Radargramma ottenuto da un profilo condotto sulla muratura esterna dell’abside della chiesa.

Con l’antenna da 600MHz è stato possibile far propagare il segnale fino a 2 m all’interno della struttura. Con l’ausilio di semplici simboli grafici, viene messa in evidenza la geometria dell’abside e il muro inclinato che la compone. Si può affermare che le riflessioni orizzontali che si trovano a 30cm (in tratteggiate in rosso) corrispondono al paramento esterno del muro. Le tre riflessioni orizzontali o sub-orizzontali (linee nere) presenti a 60-80cm sono dovute presumibilmente al muro che prosegue verso l’oratorio fino a diventarne parte in prossimità della canalina di scolo delle acque piovane. A destra della canalina stessa si trova la riflessione del muro interno della stanza di servizio dell’oratorio, sotto la finestrella. La riflessione indicata con la riga gialla è il segnale che rimbalza sulla parete opposta e torna indietro, ancora molto energetico. Nel rettangolo rosso, sono evidenziate delle riflessioni riferibili alla cassetta delle offerte in corrispondenza dell’edicola della Madonna.

PROVA CON MARTINETTO PIATTO SB-J2S

La prova è stata condotta eseguendo in primis il taglio per il martinetto nella muratura est dell’abside centrale, nell’area precedentemente caratterizzata con la prova sonica SB-SO2. Il taglio è stato effettuato ad un’altezza dal piano di calpestio pari a 52 cm³¹.

Nell’ allegato 5 vengono riportati i valori delle variazioni di lunghezza riscontrate ad ogni livello di carico. L’andamento della prova è rappresentato nei diagrammi riportati nell’allegato medesimo. Lo stato di sforzo agente nella muratura è pari a 0.21 N/mm².



Figura 6.75 - Prova SB-J2S.

Base n.	Sforzo (N/mm ²)
1	0.20
2	0.22
3	0.20
4	0.24
Sforzo medio	0.21

Tabella 6.6 – Valori di ripristino calcolati con la prova SB-J3S.

³¹ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca “prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L’Aquila*, Milano, Giugno 2010, pp. 34-36.

PROVA CON MARTINETTO PIATTO DOPPIO SB-J2D

Successivamente alla prova con martinetto singolo si è eseguita quella con doppio martinetto. Si è praticato un secondo taglio nel muro ove inserire lo strumento, parallelo a quello impiegato per la precedente, ad una distanza da questo di circa 56 cm. Per rilevare gli spostamenti, tra i due tagli sono stati disposti 4 trasduttori di spostamento verticali ed uno per lo spostamento orizzontale. La prova, condotta fino a raggiungere uno sforzo massimo pari a 1.12 N/mm^2 , mostra una muratura con caratteristiche molto diverse da quelle presentate dalla muratura della controfacciata precedentemente caratterizzata mediante l'impiego delle stesse indagini.



Figura 6.76 - Prova SB-J2D.



Figura 6.77 - Trasduttori LVDT applicati alla muratura.

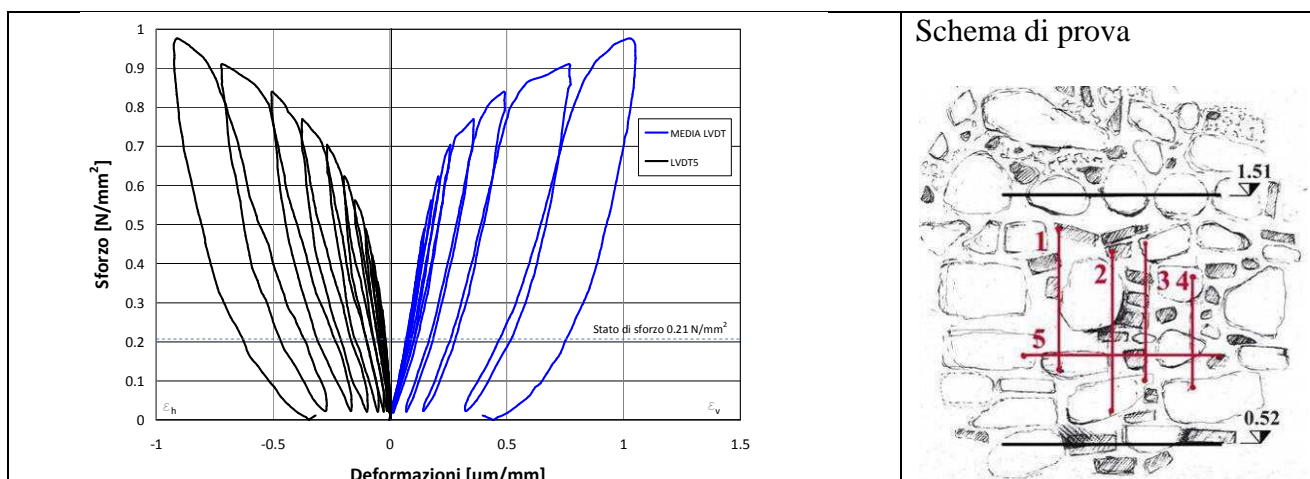


Grafico 6.2 – Prova martinetto doppio SB-J2; grafico sforzi-deformazioni ottenuto dalla media dei 4 LVDT.

L'andamento delle deformazioni verticali è stato sostanzialmente simile per i trasduttori 2, 3 e 4 impiegati nella prova. E' stato quindi possibile calcolare una curva media tra questi tre trasduttori verticali di spostamento e costruire su di essa una curva ad involuppo. Si è quindi calcolato il modulo elastico del pannello murario provato. Di seguito vengono riportati i valori che definiscono le sue proprietà tenso-deformative³².

LVDT	Intervallo elastico [N/mm ²]	Modulo Elastico [N/mm ²]	Coeff. di dilatazione trasversale
Media 2, 3, 4	0.20 – 0.49	3381	...

Tabella 6.7 –Modulo elastico e coefficiente di dilatazione trasversale ottenuti dalla prova SB-J3S.

³² Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila, Milano, Giugno 2010, pp. 36-37.*

ISPEZIONE DELLA SEZIONE MURARIA

A conclusione delle prove con martinetti piatti si è proceduto con uno smontaggio parziale dell'apparecchio murario condotto in corrispondenza del taglio superiore impiegato per la prova con martinetto doppio SB-J2D.

Di seguito viene riportata la sequenza delle operazioni che illustrano la progressiva asportazione dei conci interni alla muratura. La tessitura muraria rilevata in corrispondenza dell'abside mette in evidenza una muratura formata da pietre, mattoni e frammenti di laterizi. Anche in questo caso gli elementi lapidei erano ben ammassati tra loro e la profondità raggiunta dallo smontaggio è stata di circa 35 cm³³.



Figura 6.78 - Smontaggio parziale della muratura in corrispondenza del taglio superiore della prova SB-J2D.

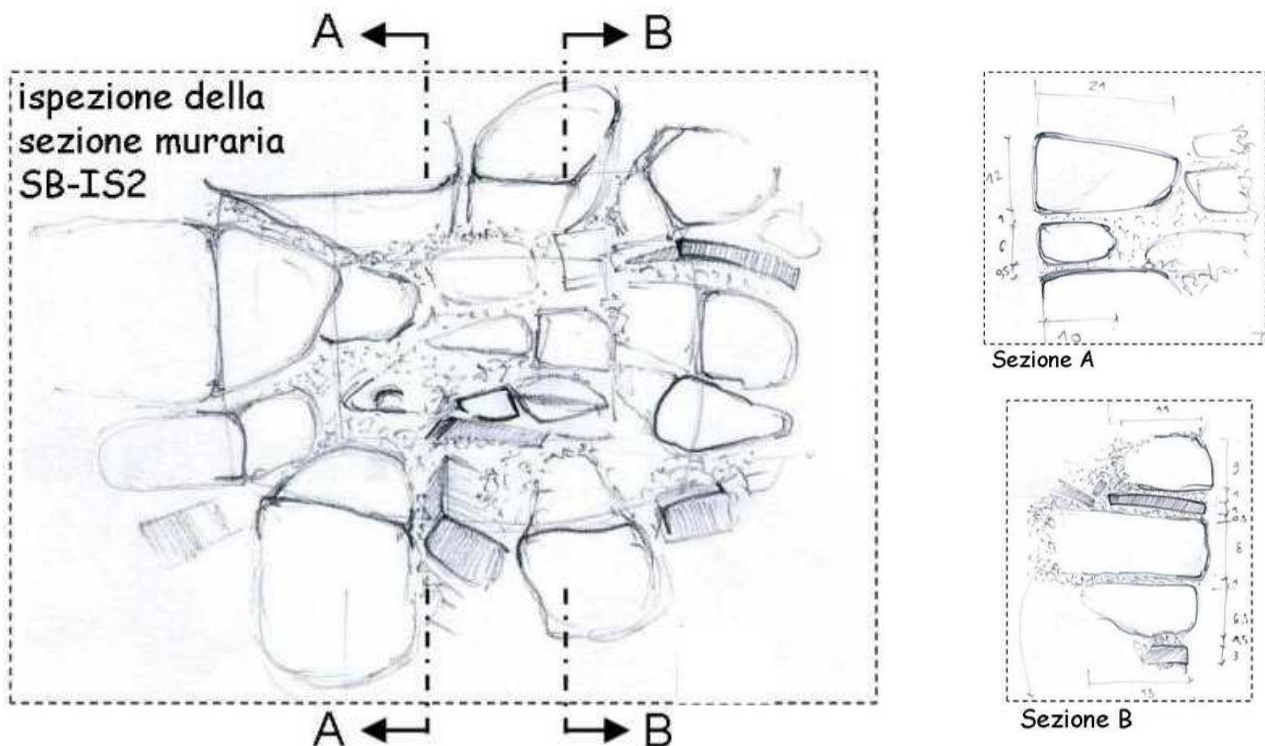


Figura 6.79 - Schizzi della muratura dopo il suo smontaggio parziale.

³³ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila"*, Milano, Giugno 2010, pp. 38-39.

SAGGI STRATIGRAFICI DELLE SUPERFICI AQ-SBa1, AQ-SBa2, AQ-SBa3

Sulle murature costituenti il catino absidale principale e quelli laterali sono stati eseguiti diversi saggi stratigrafici con lo scopo di individuare e mettere in evidenza la successione degli strati di intonaco. È stato quindi possibile individuare strati distinti, anche nello spessore di pochi micron. Si è proceduto, mediante delicate esfoliazioni realizzate con bisturi, a rimuovere pochissimo materiale per volta dello strato superiore per giungere allo strato sottostante senza danneggiarlo.

Si sono evidenziate stratigrafie complesse, che inducono a supporre la preesistenza di corpi di fabbrica appartenenti a fasi edificatorie precedenti. I materiali raccolti dagli strati individuati sono stati chimicamente analizzati.

I primi tre saggi stratigrafici sono stati realizzati, in corrispondenza dell'abside e delle due cappelle laterali. La prima operazione è stata quella di eseguire una "descialbatura", che ha messo in evidenza la presenza di due strati d'intonaco. Lo strato di finitura (spessore circa 4,5 mm) si presenta di color bianco, una struttura compatta, e una grana finissima. Il 2° strato d'intonaco (spessore circa 15 mm) presenta colore bianco-paglierino chiaro, una struttura compatta, e una grana medio-fine. Sotto lo strato d'intonaco si è messa in evidenza la presenza di una pietra.

In corrispondenza del saggio stratigrafico realizzato sulla parete absidale settentrionale si evidenziano due intonaci sovrapposti: un intonachino costituito da uno strato, un arriccio caratterizzato da una colorazione bianca e uno strato di finitura di 2 mm.

In corrispondenza del saggio stratigrafico AQ-SBSa3 si evidenziano due intonaci affiancati: il primo costituito da uno strato, un arriccio caratterizzato da una colorazione bianca e uno strato di finitura di 2 mm. L'intonaco più a destra indicato dalla ricerca storica come il più antico, rigato e avente spessore di circa 0,3 mm). I due differenti intonaci presentano entrambi un intonaco sovrapposto (spessore circa 0,3 mm) ad indicare che quest'ultimo è stato realizzato successivamente, il quale a sua volta è stato sovrapposto da una finitura bianca (spessore circa 0,3 mm)³⁴.

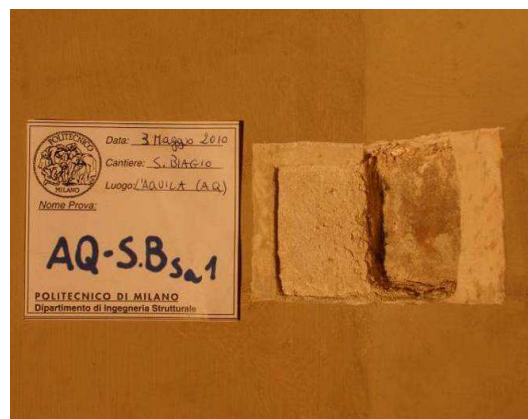


Figura 6.80 - Saggio AQ-SBa1.



Figura 6.81 - Saggio AQ-SBa2: particolare dei due strati d'intonaco sovrapposti e della pietra.



Figura 6.82 - Saggio AQ-SBa3: particolare dei due strati d'intonaco sovrapposti e della pietra.

³⁴ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila"*, Milano, Giugno 2010, pp. 114-115.

VERIFICA AMMORSAMENTI AQ-SBA8

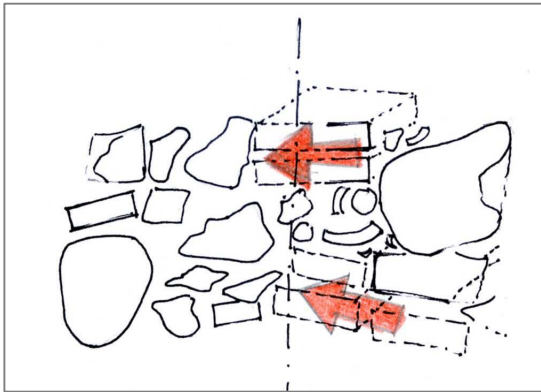


Figura 6.83 – Verifica ammorsamento AQ-SBA8.



Figura 6.84 – Particolare ammorsamento AQ-SBA8.

La verifica dell'ammorsamento AQ-SB-A8, mette in evidenza una muratura molto compatta, costituita da pietre sbazzate. Si osserva la presenza di mattoni, utilizzati per inspessire la muratura, o utilizzati come piccole zeppe. Le due murature sono tra loro ben ammorsate³⁵.

AMMORSAMENTO AQ-SBA2



Figura 6.85 – Ammorsamento AQ-SBA2.

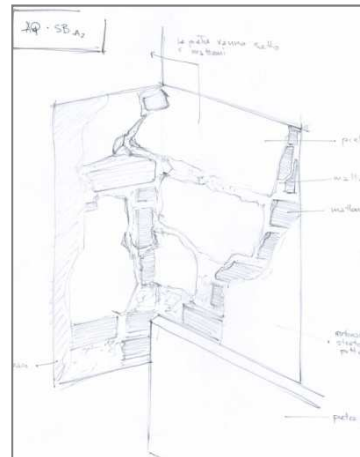


Figura 6.86 – Ammorsamento AQ-SBA2

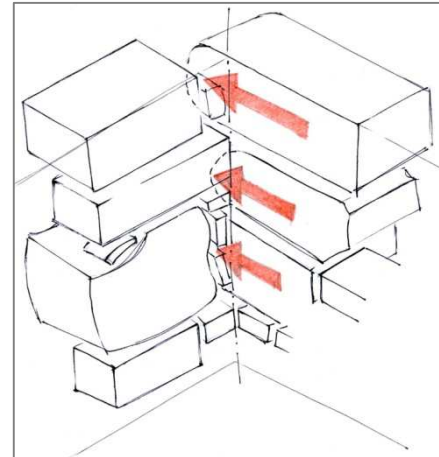


Figura 6.87 – Verifica ammorsamento AQ-SBA2.

La verifica dell'ammorsamento AQ-SB -A2, mette in evidenza una muratura costituita da pietre sbazzate e/o squadrate, e alcuni mattoni, la muratura sembra ammorsata alla lesena anch'essa costituita da pietre e mattoni³⁶.

COMMENTI AI RISULTATI

A seguito dell'analisi delle prove effettuate è possibile sostenere che alcune murature dell'abside centrale e dell'abside laterale ovest mostrano, rivelate dalla **termografia**, tessiture murarie differenti: entrambe però risultano composte da pietre di dimensioni regolari e disposte correttamente disposte lungo piani di posa regolari. Diverse invece sono le apparecchiature murarie delle paraste costituite da

³⁵ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila*, Milano, Giugno 2010, pag. 126.

³⁶ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila*, Milano, Giugno 2010, pp. 118-119.

blocchi squadrati di pietra intervallati da corsi di laterizi. Dalle velocità desunte con le **prove soniche** emerge una loro distribuzione disomogenea anche se abbastanza elevate (media di 1332.3 m/s, non di molto inferiore alla velocità media individuata in facciata) tanto da poter escludere la presenza di vuoti o cavità. La conferma a questa deduzione giunge a seguito dello **smontaggio parziale dell'apparecchio murario**. L'indagine ha mostrato il buon ammorsamento degli elementi lapidei costituenti l'apparecchio murario ben legati tra loro grazie ad una valida malta di allettamento e zepette di laterizi; il tutto crea una muratura molto compatta priva di vuoti interstiziali. Anche le **verifiche di ammorsamento** condotte nell'area indagata mostrano l'apparecchio murario come descritto dall'indagine precedente, inoltre mettono in risalto come le lesene siano solo appoggiate alla muratura e non profondamente connesse ad essa.

La prova con **martinetto singolo** ha rivelato uno stato di sforzo pari a 0.21 N/mm², approssimabile allo stato di sforzo ipotizzato per il paramento di controfacciata, mentre sono molto diverse le caratteristiche tenso-deformative. La prova con **martinetto doppio** è stata condotta fino al raggiungimento di uno sforzo massimo pari a 1.12 N/mm², l'andamento delle deformazioni verticali è stato sostanzialmente simile per 3 trasduttori di spostamento su 4. Grazie allo studio della curva ottenuta dei valori medi dei 3 LVD con comportamento similare si è potuto calcolare in modulo elastico E del pannello murario pari a 3381 N/mm², valore nettamente inferiore (37% in meno) a quello ricavato dallo studio della muratura di controfacciata anche se in termini assoluti non è da considerarsi un valore eccessivamente basso per una tipologia muraria come questa.

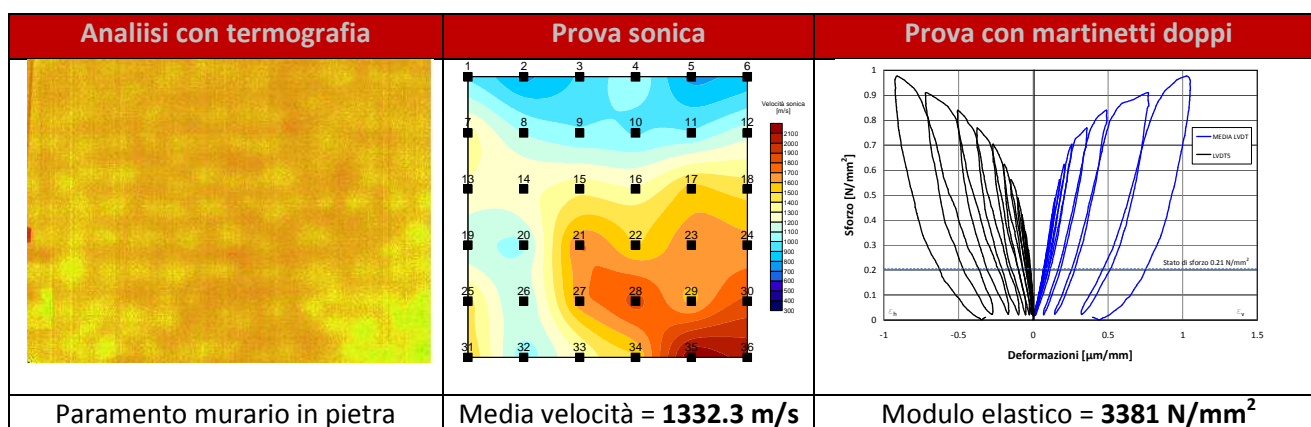


Tabella 6.8 – Corrispondenza tra le prove termografiche, soniche e con martinetti doppi

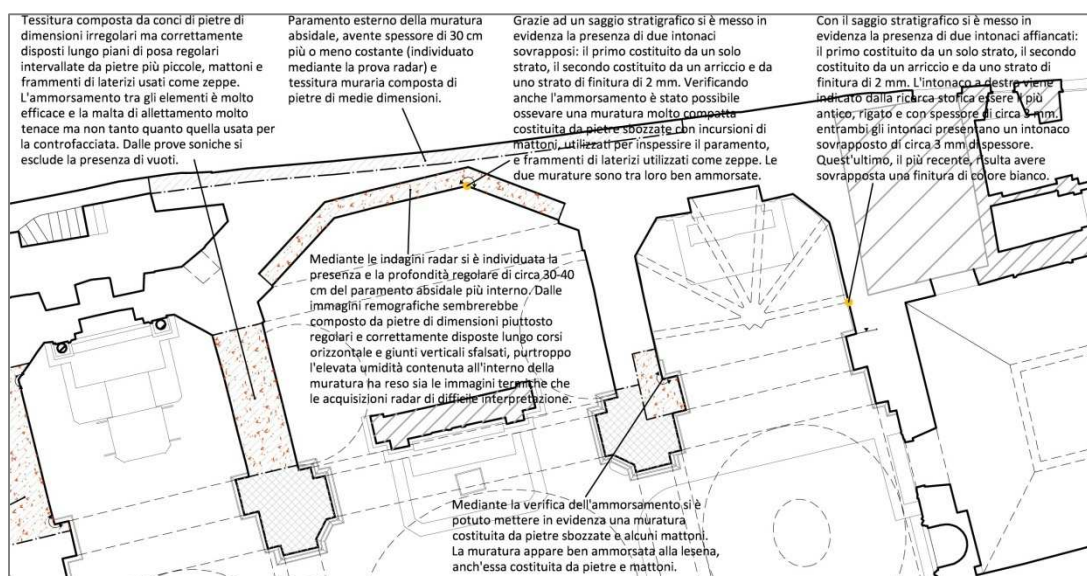


Figura 6.88 – Schema esemplificativo delle deduzioni tratte dalle analisi diagnostiche.

f.3_Caratterizzazione della muratura perimetrale tra la chiesa di san Biagio e l'oratorio di san Giuseppe dei Minimi.

La muratura perimetrale confinante con l'oratorio di san Giuseppe dei Minimi è stata studiata e analizzata, come i paramenti precedentemente indagati, mediante l'impiego complementare di alcune tecniche diagnostiche; in particolare sono state impiegate:

- Prove di termografia attiva;
- Prove soniche;
- Verifica degli ammorsamenti;
- Caratterizzazione delle malte.

PROVA TERMOGRAFICA

Nel progettare l'indagine su questa muratura ci si è trovati in difficoltà nell'individuare i punti su cui eseguire le indagini in quanto la presenza del susseguire degli altari laterali lungo la parete in esame rendevano la muratura stessa non direttamente visibile ed ispezionabile. Si è scelto quindi di eseguire una prova termografica per studiare la tessitura muraria del paramento lungo l'unico punto accessibile: il lato est dell'abside minore di sud-est.

La prova termografica di tipo attivo ha permesso di ottenere immagini utili per identificare la geometria dei conci di pietra nascosti al di sotto dell'intonaco. Si tratta di un paramento in conci di pietra con le proporzioni analoghe a quelle osservate per la muratura dell'abside centrale³⁷.

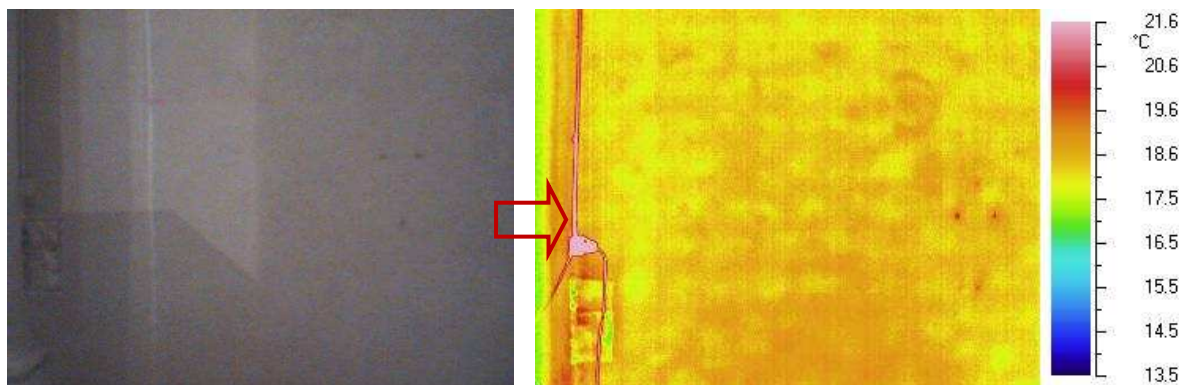
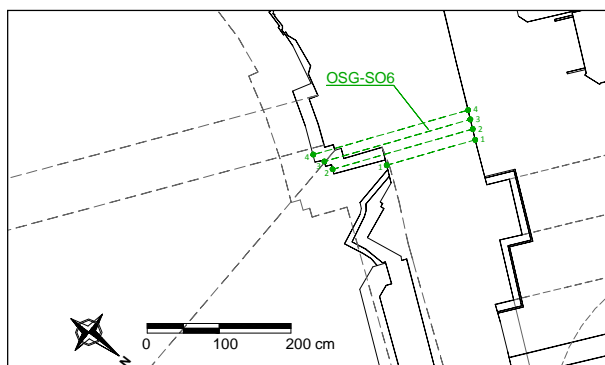


Figura 6.89 – Confronto tra l'immagine visibile e termica della muratura perimetrale tra san Biagio e san Giuseppe.

PROVA SONICA OSG-S08



Nella medesima area dove sono state eseguite le termografia, la muratura in comune tra le due chiese è stata indagata attraverso una prova sonica ed un carotaggio passante con successiva videoendoscopia.

A causa della diversa quota tra il piano di calpestio dei due edifici, la prova sonica è stata condotta un'unica fila di 4 punti di prova. Sul lato dell'oratorio, i

Figura 6.90 – Localizzazione della prova

³⁷ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila, Milano, Giugno 2010, pp. 88-90.*

punti sono stati collocati sui diversi elementi di base di un pilastro addossato alla muratura: tutti gli spessori risultano quindi essere differenti³⁸.

I risultati ottenuti dalla prova sonica, indicano una discreta continuità tra gli elementi che compongono la sezione muraria indagata, considerando la consistenza dello spessore di questa struttura. Essendo solamente 4 le misure effettuate, per questa analisi non si è potuto compilare una scheda come quelle precedentemente presentate.



Figura 6.91 – Emissione dell'impulso



Figura 6.92 – Ricezione dell'impulso

Punto di prova	Spessore (m)	Tempo (s)	Velocità (m/s)
1	1.26	0.001348	934.7
2	1.99	0.002180	912.8
3	2.08	0.002321	894.0
4	2.21	0.001861	1184.8
Velocità Media totale			981.6
Deviazione Standard			136.5

Tabella 6.9 – Risultati della prova sonica

CAROTAGGIO E VIDEOENDOSCOPIA OSG-E6

Per ottenere informazioni complementari a quanto dedotto dalle indagini termografiche effettuate sulla muratura confinante tra i due edifici, si è condotto un carotaggio il cui foro passante, lasciato nel paramento, è stato indagato mediante video endoscopia.

Il risultato dell'osservazione è documentato nella restituzione stratigrafica della sezione indagata: la video endoscopia mostra una struttura compatta, costituita da conci di pietra di circa 30 o 40 cm per quanto riguarda i paramenti più esterni, e con dimensioni più ridotte e variabili nella parte interna³⁹.

³⁸ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila"*, Milano, Giugno 2010, pp. 90-92.

³⁹ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila"*, Milano, Giugno 2010, pp. 90-92.

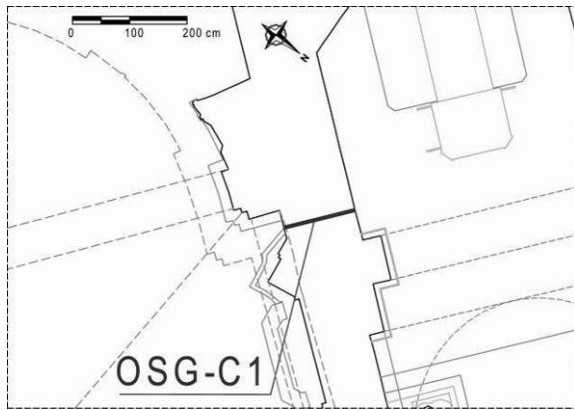


Figura 6.93 – Localizzazione della prova.



Figura 6.94 – Particolare della prova OSG-E6.

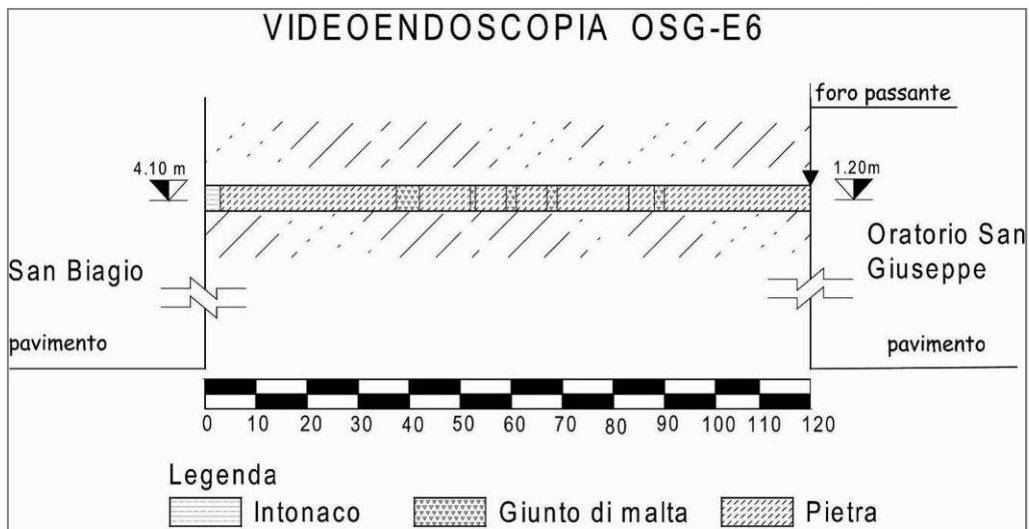


Figura 6.95 – Restituzione grafica della stratigrafia della sezione muraria.

AMMORSAMENTO AQ-SBA6



Figura 6.96 – Ammorsamento AQ-SBA6

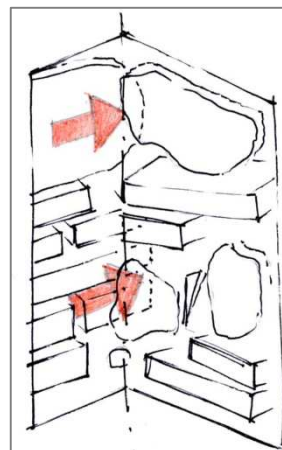


Figura 6.97 – Verifica ammorsamento AQ-SBA6

La verifica dell'ammorsamento AQ-SB –A6, mette in evidenza una muratura costituita da pietre sbazzate e mattoni. La muratura perimetrale sembra ben ammorsata alla lesena in pietra e mattoni.

AMMORSAMENTO AQ-SBA7



Figura 6.98 – Ammorsamento AQ-SBA7

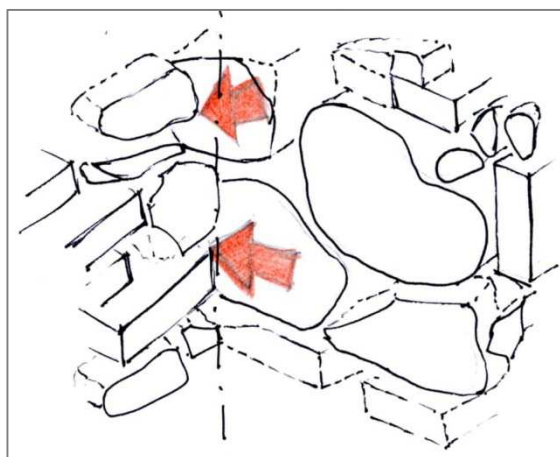


Figura 6.99 – Verifica ammorsamento AQ-SBA7

La verifica dell'ammorsamento AQ-SB –A7, mette in evidenza una muratura molto compatta, costituita da pietre sbazzate. Si osserva la presenza di mattoni utilizzati per inspessire la muratura, o utilizzati come piccole zeppe. Le due murature sono ben ammorsate.

COMMENTI AI RISULTATI

A conclusione della campagna di indagine effettuata sulla muratura di confine tra la chiesa di san Biagio e l'oratorio di san Giuseppe dei Minimi è possibile affermare, grazie ai **termogrammi** realizzati, che la muratura contenuta nella conca absidale dell'abside minore est sia composta da conci di pietra aventi proporzioni simili alla muratura ovest dell'abside minore ovest. Purtroppo tale deduzione non è espandibile all'intero paramento murario est, in quanto la presenza di altari laterali non ha permesso di estendere l'indagine. Anche le **prove soniche** sono state svolte in condizioni disagiate in quanto i due edifici non hanno piano di calpestio alla medesima quota, ma nonostante le difficoltà si è riusciti a individuare una velocità media di 981 m/s, velocità piuttosto bassa ma lontana dalla velocità di un'onda sonora nell'aria, per cui è stato possibile presurre che la muratura non presentasse vuoti. A conferma della deduzione si è svolto il **carotaggio** e al conseguente **video endoscopia**: l'interno della sezione analizzata appare compatta e costituita da conci di pietra di 30 – 40 cm nel paramento più esterno e con dimensioni più ridotte all'interno. Purtroppo avendo analizzato semplicemente una piccola area del paramento non è possibile estendere il risultato alla globalità della muratura stessa⁴⁰.

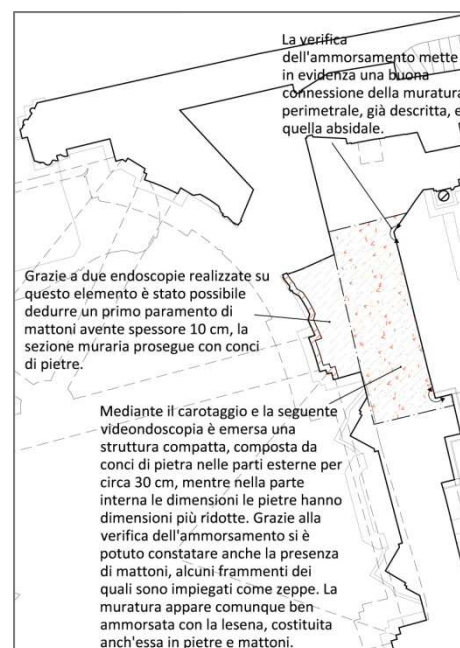


Figura 6.100 – Schema esemplificativo delle deduzioni tratte dalle analisi diagnostiche.

⁴⁰ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione interpretativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila"*, Milano, Giugno 2010, pp. 22-23.

f.4_Caratterizzazione della muratura perimetrale destra della chiesa di san Biagio.

La muratura perimetrale destra è stata indagata effettuando le verifiche d'ammorsamento tra muratura e paraste e con un carotaggio e videonedoscopia passante, al fine di individuare la muratura quattrocentesca e l'eventuale ammorsamento tra il paramento più antico e quello più recente.

VERIFICA AMMORSAMENTI AQ-SBA1



Figura 6.101– Ammorsamento AQ-SBA1.

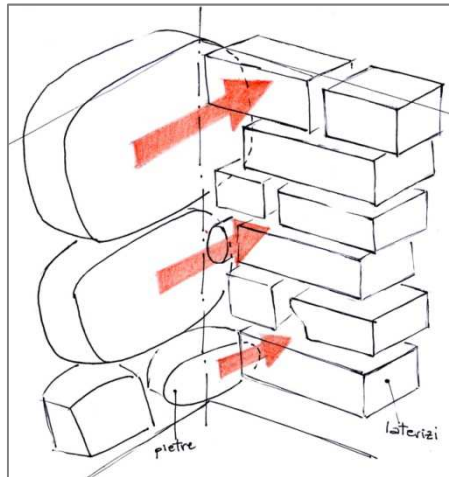


Figura 6.102 – Verifica ammorsamento AQ-SBA1

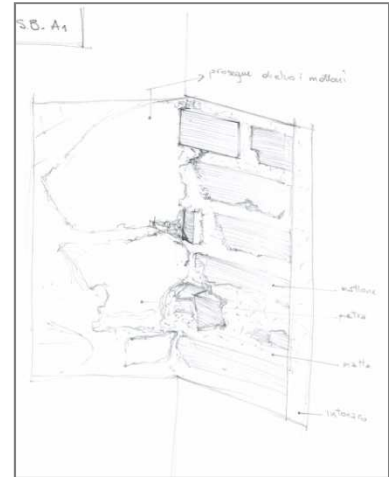


Figura 6.103 – Schizzo verifica ammorsamento AQ-SBA1.

Il saggio AQ-SB A1, mette in evidenza una muratura costituita da pietre sbozzate e la lesena realizzata in mattoni. Per quanto riguarda l'ammorsamento, la lesena sembra appoggiata alla muratura⁴¹.

AMMORSAMENTO AQ-SBA3

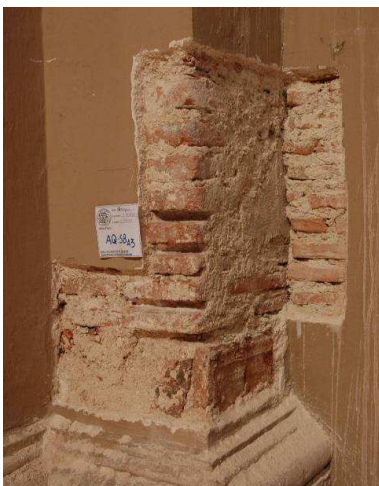


Figura 6.104 – Ammorsamento AQ-SBA3.

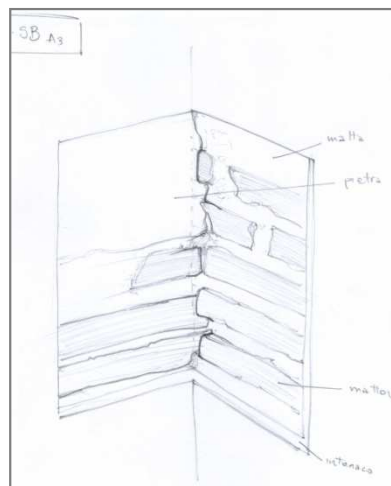


Figura 6.105 – Schizzo verifica ammorsamento AQ-SBA3.

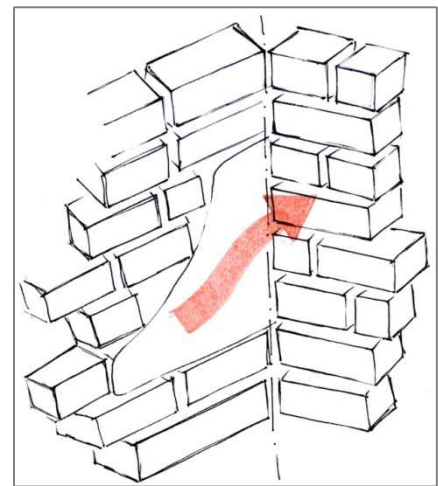


Figura 6.106 – Verifica Ammorsamento AQ-SBA3.

La prova AQ-SB A3, mette in evidenza una muratura realizzata in mattoni appoggiata alla lesena. Per approfondire l'indagine si è realizzato un secondo saggio ad un'altezza di circa 130 cm. Tale analisi mette in evidenza la muratura in mattoni della lesena, ammorsata ad una pietra sbozzata probabilmente preesistente.

⁴¹ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila, Milano, Giugno 2010, pag. 117.*

CAROTAGGIO E VIDEOENDOSCOPIA SB-C''-C3

Sulla muratura tra lesena ed altare in corrispondenza del pilastro C è stato eseguito un carotaggio passante per tutto lo spessore murario (78cm). In questo caso è stata osservata una sezione composta da conci di pietra regolari e mattoni. A circa 12 cm di distanza dalla superficie interna è presente un'area vuota profonda 7 cm (figura 6.108). Da una attenta osservazione è emerso che questo vuoto potrebbe indicare una fodera in mattoni e in corrispondenza dell'altare ammassata alle paraste laterali⁴².

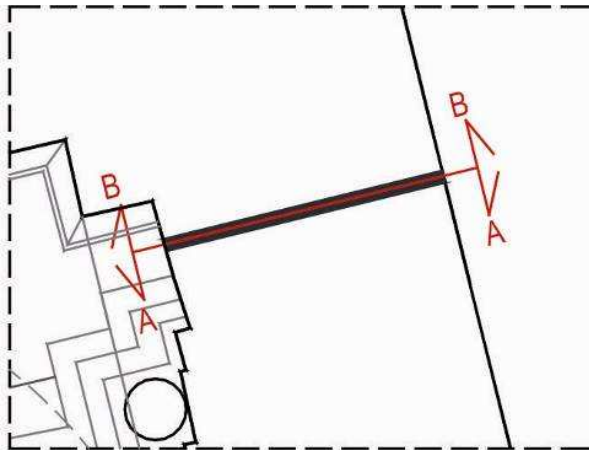


Figura 6.107 – Localizzazione del carotaggio SB-C''-C3.



Figura 6.108 – Vista endoscopica in corrispondenza del vuoto nella muratura.

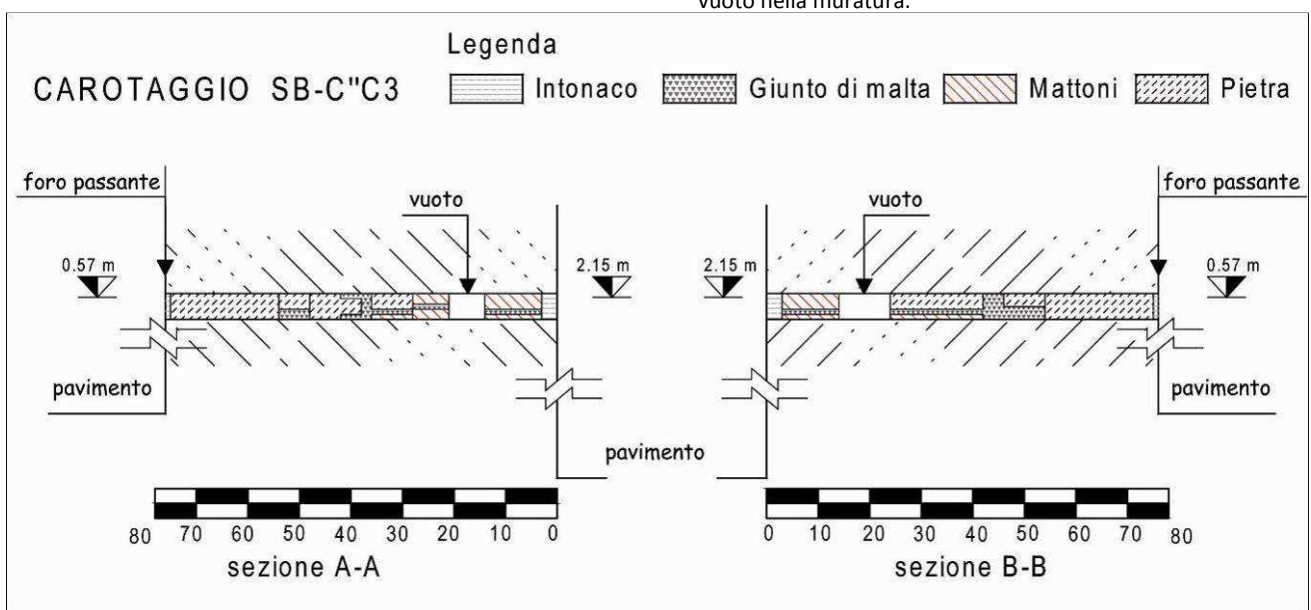


Figura 6.109 – Schema della stratigrafia ottenuta dalla videoendoscopia SB-C''-C3.

⁴² Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila, Milano, Giugno 2010, pp. 40-42.*

COMMENTI AI RISULTATI

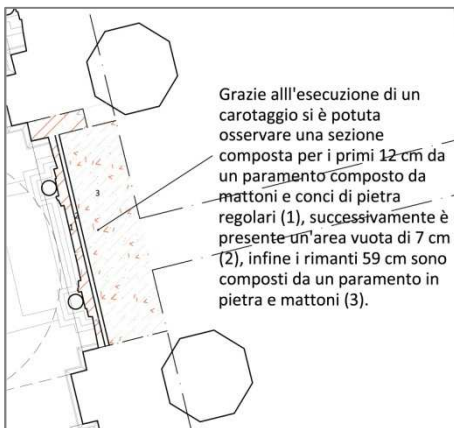


Figura 6.110 – Schema esemplificativo delle deduzioni tratte dalle analisi diagnostiche.

Le prove diagnostiche effettuate su questa muratura mostrano un paramento costituito da pietre sbazzate nella parte corrispondente alla parete ovest dell'abside minore ovest, la cui parasta, realizzata in mattoni appare appoggiata alla muratura e non **connessa** ad essa. Nella parte centrale della muratura, rispetto al lunghezza della navata, si è individuata una muratura composta da laterizi che si appoggiano alla lesena, la quale appare ammorsata ad una pietra sbazzata probabilmente preesistente. Per approfondire queste conclusioni si è realizzato, nell'area in questione, un **carotaggio**. Analizzando il foro è stato possibile **osservare** una sezione muraria composta da conci di pietra regolari e mattoni. A soli 12 cm di profondità è presente una cavità profonda 7 cm. Tale vuoto potrebbe indicare una fodera in mattoni che risulterebbe, probabilmente, ammorsata alle paraste laterali corrispondenza dell'altare⁴³.

f.5_Prove termografiche ed ispezioni delle volte

Durante il periodo di soggiorno all'interno della chiesa di san Biagio per effettuare le indagini diagnostiche è stato possibile, grazie all'aiuto del Soprintendente alle Belle Arti dell'Aquila, Marsili, effettuare un sopralluogo nel sotto tetto per poter osservare lo stato di conservazione delle coperture, della volta incannucciata della volta della navata principale e l'estradosso delle cupole delle navate laterali.

NAVATA CENTRALE

Come è possibile notare dai crolli parziali subiti dalla volta della navata centrale, questa possiede una struttura lignea. Volendo caratterizzare l'intera volta, per determinare se anche gli archi tra ogni campata avessero una struttura in muratura, è stata eseguita una prova termografica su di essi. I risultati ottenuti mostrano una struttura ad arco composta da elementi lignei. Una ispezione dell'estradosso della volta della navata centrale ha permesso di consolidare i risultati ottenuti dalla prova termografica; la navata centrale risulta interamente coperta da una volta in camorcanna con centine lignee⁴⁴.

⁴³ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione interpretativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila*, Milano, Giugno 2010, pag. 21.

⁴⁴ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila*, Milano, Giugno 2010, pp. 85-87.



Figura 6.111 – Capriate lignee.



Figura 6.112 – Dettaglio delle centine lignee della volta.



Figura 6.113 – Dettaglio dell'intreccio delle canne.

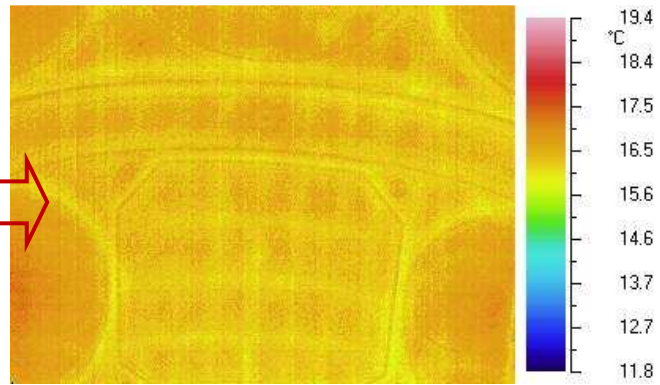


Figura 6.114 – Risultati della termografia effettuata sulla volta della navata centrale.

NAVATA LATERALE

Per ispezionare le volte laterali è stato necessario smontare alcuni blocchi in calcestruzzo alleggerito posti a chiusura della muratura in pietra della controfacciata e il tetto. Il raggiungimento di tale zona è stato possibile a seguito dell'utilizzo di un trabattello di circa 6m posto al di sopra della volta dell'ingresso.

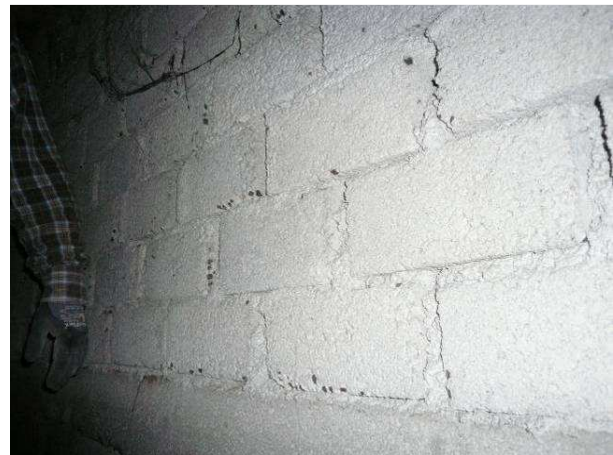


Figura 6.115 e 6.116 – Porzione di muratura in blocchi di cls posti a chiusura della muratura della controfacciata.

L'unica volta ispezionata è stata solo la prima posta a destra dell'ingresso a causa dell'accumulo di materiale (coppi e pietre) probabilmente derivanti dalla vecchia copertura della chiesa oggi sostituita. È

stato anche possibile rilevare che a chiusura della prima campata della navata laterale è presente un'altra muratura (timpano) costituita sempre da blocchi in cls alleggerito.



Figura 6.117 – Accumulo di materiale al di sopra della cupola laterale e timpano di chiusura della campata.



Figura 6.118 – Vista dell'estradosso di una cupola della navata laterale.

Le cupole delle volte laterali sono costituite in laterizi e malta. L'osservazione dell'estradosso ha permesso di rilevare la presenza di una nervatura, costituita da mattoni posti di testa, in corrispondenza della diagonale della volta⁴⁵.

f.6_Indagini radar sul pavimento della navata centrale

Le indagini sulla navata centrale sono state richieste per confermare la presenza di due strutture murarie individuate da precedenti campagne diagnostiche nelle navate laterali, nella seconda e terza campata. Le indagini sono state effettuate con due differenti antenne prodotte dalla IDS, a media (600MHz) e media-bassa frequenza (200MHz).

I profili partono dalla seconda campata della navata centrale, poiché la prima era resa impraticabile dalla presenza di macerie e sono eseguiti ad una distanza di 30 cm uno dall'altro. Tali acquisizioni sono state svolte indagando seguendo traiettorie ortogonali all'altare, e parallele alla facciata. Dalle elaborazioni si notano diverse zone difficilmente interpretabili.

La presenza dei muri, di cui si conosce l'ubicazione nelle navate laterali, grazie a indagini georadar svolte in precedenza, e ad una serie di scavi eseguiti in occasione di lavori condotti nella navata centrale, è di difficile determinazione: solo in due aree si è ottenuto un chiaro riscontro, riconducibile a sezioni estese di artefatti in muratura. Il segnale, nelle aree indagate, non permette di individuare chiaramente i muri. Si può far presente che, ove la penetrazione del segnale non risulta ostacolata, si trovano delle riflessioni più estese che possono far presumere la presenza di manufatti di una certa estensione. Come detto, però, l'esigua dimensioni delle zone non soggette alla forte attenuazione del segnale non permette una interpretazione corretta del fenomeno.

⁴⁵ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila, Milano, Giugno 2010, pp. 85-87.*

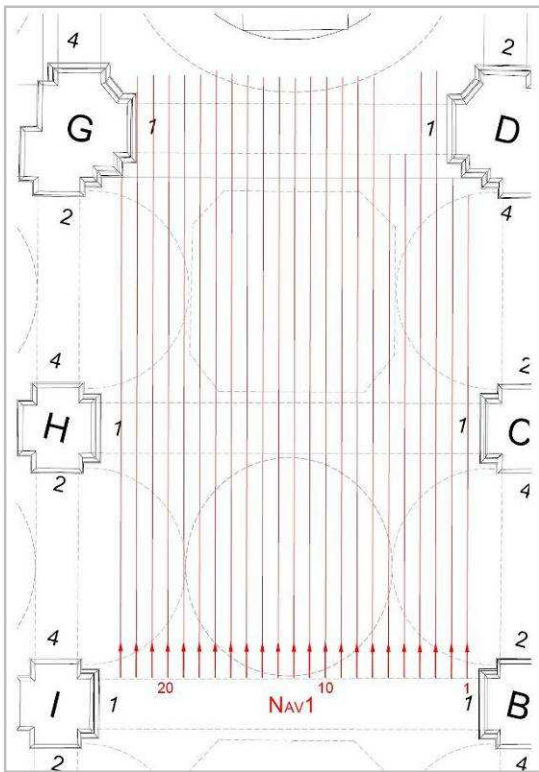


Figura 6.119 – Geometria di acquisizione con antenna da 600MHz, in direzione longitudinale alla navata centrale.

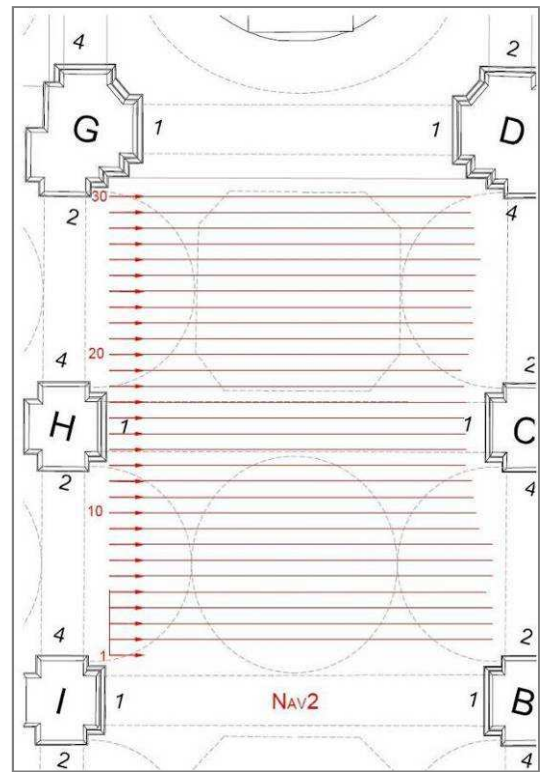


Figura 6.120 – Geometria di acquisizione con antenna da 600MHz, in direzione trasversale alla navata centrale.

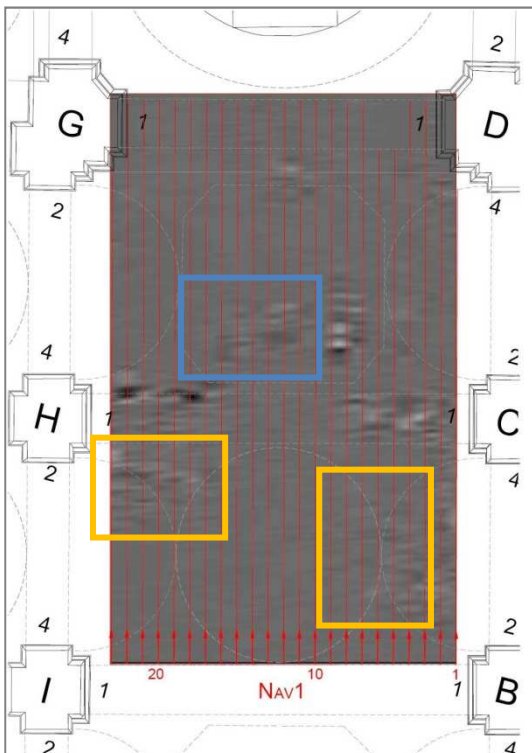


Figura 6.121 – Sezione radar riferita alla profondità di 53 cm.

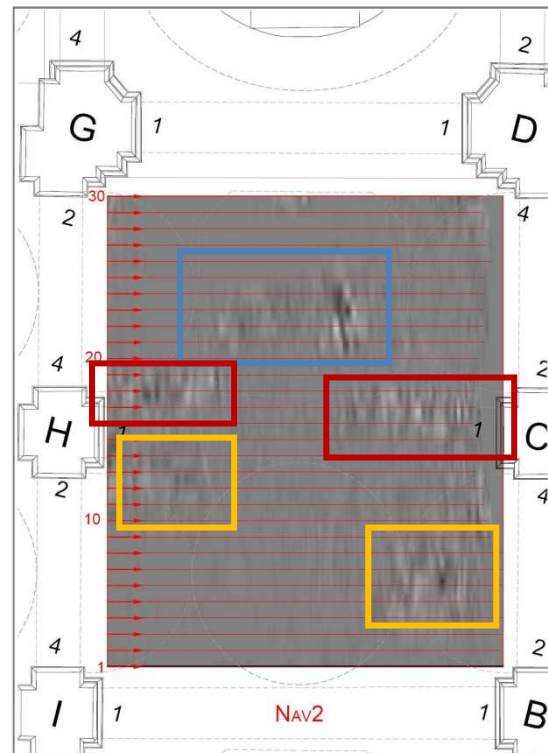


Figura 6.122 – Sezione radar ricavata dai profili trasversali a 58 cm.

Nelle immagini seguenti, aventi sezione radar riferita alla profondità di 53 cm, si può notare una parte del presunto muro in corrispondenza dei pilastri H e C, a circa 5 metri e mezzo dal profilo dei profili. Questo target si estende per quasi 2 metri nella parte centrale della navata. Tra i pilastri H e C si riscontrano delle riflessioni ben distinte e presenti nei profili ottenuti in entrambe le direzioni. Compiono abbastanza in

superficie ed è da escludere che possano appartenere alle fondazioni dei pilastri stessi. Si potrebbe trattare di una struttura presente tra i due pilastri: l'eventuale resto di muro è indicato nel rettangolo blu, mentre altri due eventi sono segnalati dai rettangoli gialli che potrebbero essere i resti di un'altra struttura. Nei rettangoli rossi si evidenziano invece le riflessioni⁴⁶.

g_Caratterizzazione dei pilastri della chiesa di san Biagio

Per la caratterizzazione dei pilastri costituenti i colonnati a divisione delle navate laterali da quella principale della chiesa di san Biagio si è operato su tutti gli elementi delle indagini soniche in trasparenza nelle due direzioni opposte delle facce dell'elemento stesso (direzione 1-3 e 2-4) in modo da poter ottenere delle traiettorie perpendicolari tra loro. Su ciascun prospetto è stata quindi riportata una maglia geometrica di punti 30 punti suddivisi in 6 righe e 5 colonne. Tale metodologia è stata seguita per tutte le colonne ad eccezione delle nominate E ed F, in quanto essendo addossate alla muratura dell'abside non era possibile seguire la prova nella direzione 2-3.

Su alcuni pilastri si sono eseguite diverse tecniche di indagine al fine di capirne meglio il comportamento:

Pilastro B: Prove soniche;

Pilastro C: Prove soniche, carotaggio, tomografia radar, video endoscopia e endoscopia;

Pilastro D: Prove soniche, prove termografiche e endoscopia;

Pilastro E: Prove soniche nella sola direzione 1-3;

Pilastro F: Prove soniche nella sola direzione 1-3;

Pilastro G: prove soniche , prove termografiche, prove radar e tomografia radar, endoscopia, prova con martinetto piatto singolo e smontaggio parziale per indagine della sezione;

Pilastro H: Prove soniche, prove termografiche, prova con martinetto piatto singolo e smontaggio parziale per indagine della sezione, saggio stratigrafico;

Pilastro I: Prove soniche.

g.1_Caratterizzazione del pilastro B

PROVE SONICHE SB-B-S1-3, SB-B-S2-4

Il pilastro è stato indagato mediante prove soniche di trasparenza. Le prove sono state effettuate sulle due coppie di facce del pilastro tra loro ortogonali (lati 1-3 e 2-4) in modo da poter ottenere traiettorie tra loro perpendicolari. Costruendo il reticolo delle intersezioni derivanti dalle due traiettorie di prova, tra loro ortogonali, è possibile valutare la distribuzione delle velocità in corrispondenza di ciascun livello di prova.

I risultati ottenuti mostrano una velocità media pari a 1422.9 m/s nella direzione 1-3, e 1276.2 m/s nella direzione 2-4. Alla base del pilastro si riscontrano velocità piuttosto basse, probabilmente imputabili all'ipotetico distacco delle lastre di pietra di rivestimento della base stessa. Ai livelli più alti si riscontrano invece velocità più elevate anche se con distribuzione disomogenea relazionabile alla presenza di vuoti

⁴⁶ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila*, Milano, Giugno 2010, pp. 96-101.

localizzabili (ad esempio buche pontaiie ancora aperte)⁴⁷. I dati relativi alle prove soniche condotti sul pilastro sono raccolti nell'allegato 7.

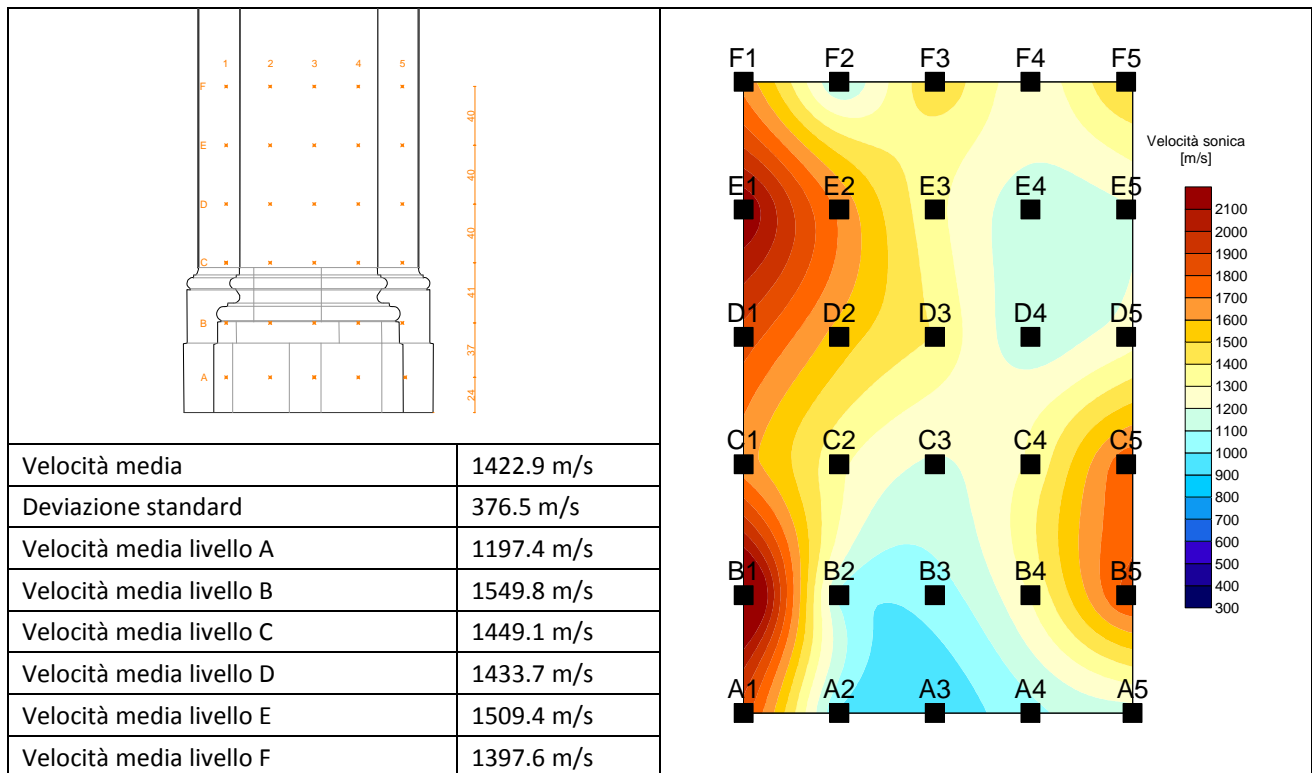


Tabella 6.10 – Scheda riassuntiva dei valori delle prove soniche in direzione 1-3

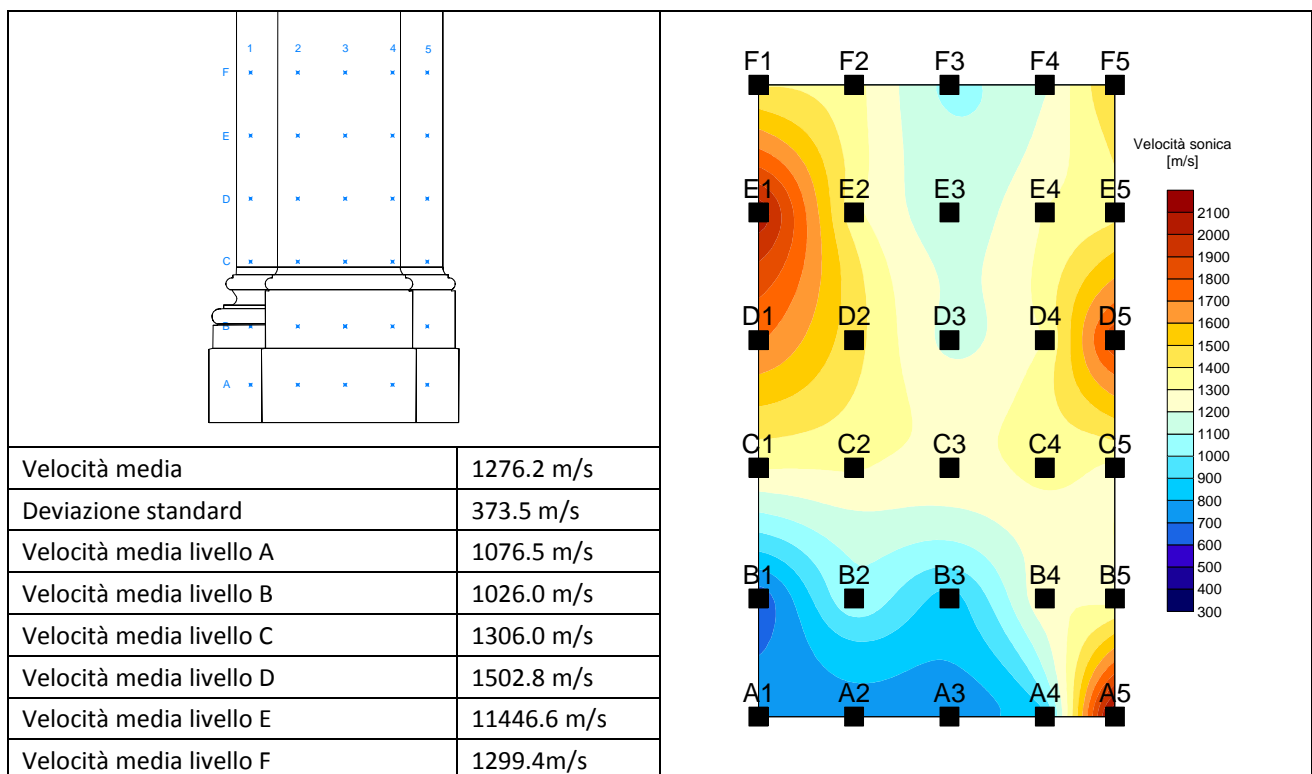


Tabella 6.11 – Scheda riassuntiva dei valori delle prove soniche in direzione 2-4

⁴⁷ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila, Milano, Giugno 2010, pp. 44-46.*

g.2_Caratterizzazione del pilastro C

Per la determinazione delle caratteristiche del pilastro C si sono utilizzate diverse tecniche diagnostiche, in modo che si potessero completare tra loro per ottenere risultati quanto più precisi sono state quindi impiegate prove soniche di trasparenza nelle due direzioni ortogonali delle facce del pilastro, un carotaggio con seguente analisi video endoscopica ed endoscopica e la tomografia radar.

PROVA SONICA SB-C-S1-3 e SB-C-S2-4

Le prove soniche di trasparenza condotte su questo pilastro mostrano valori molto disomogenei tra loro con un consistente calo delle velocità nell'area centrale della geometria di prova.

Eseguendo la media tra i punti di intersezione delle traiettorie delle prove appena descritte, sono state ottenute distribuzioni di velocità per ciascun livello di prova, riportati successivamente nella scheda 8 contenuta nell'allegato 8.

Le velocità medie sono di 1295.2 m/s in direzione 1-3 e 1248.5 m/s in direzione 2-4. Anche per il pilastro C si nota un basamento caratterizzato da velocità contenute sempre a causa dell'influenza delle lastre di rivestimento parzialmente distaccate. Prendendo in considerazione i livelli di prova C, D, E, F si osservano velocità più elevate. La variazione dei valori riscontrati da un livello all'altro può essere messa in relazione alla presenza di buche pontaipe all'interno della struttura⁴⁸.

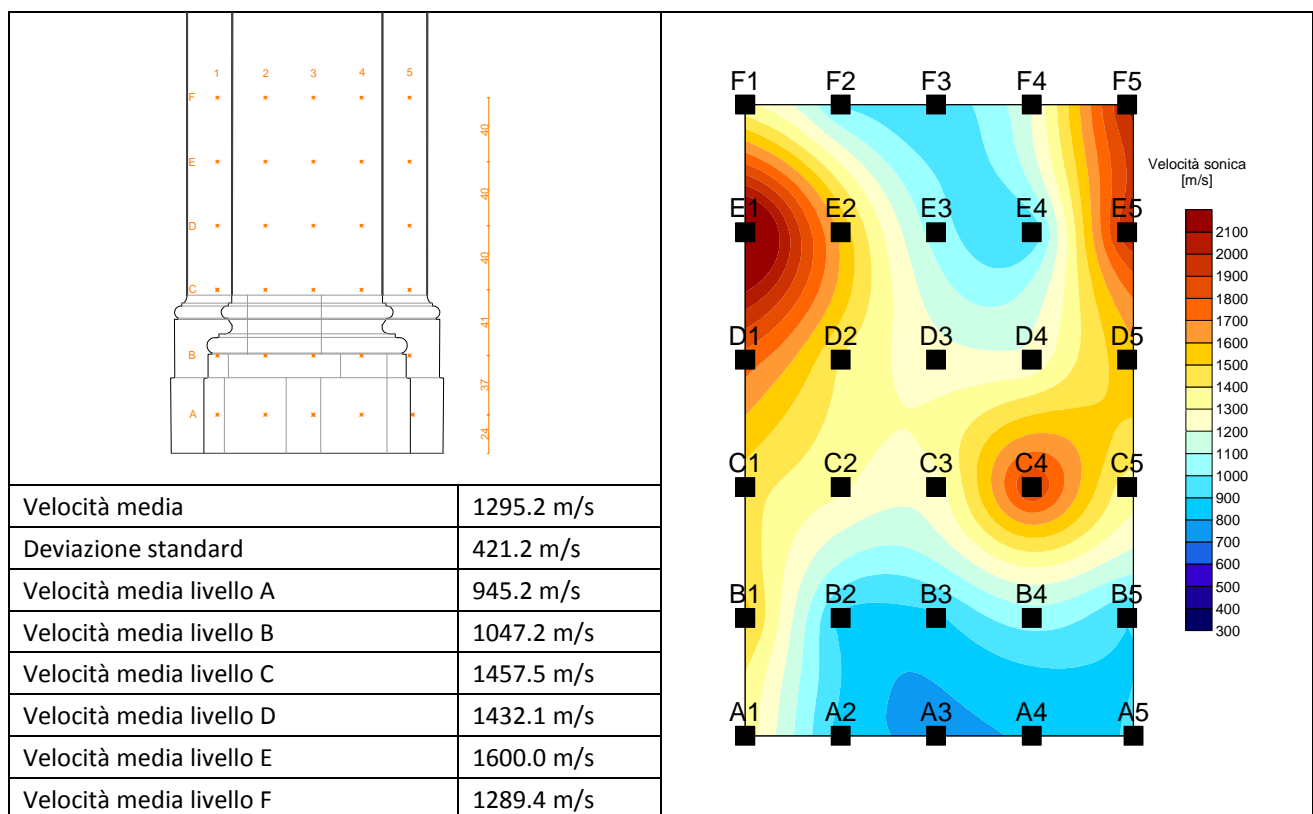


Tabella 6.12 – Scheda riassuntiva dei valori delle prove soniche in direzione 1-3

⁴⁸ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila"*, Milano, Giugno 2010, pp. 48-50.

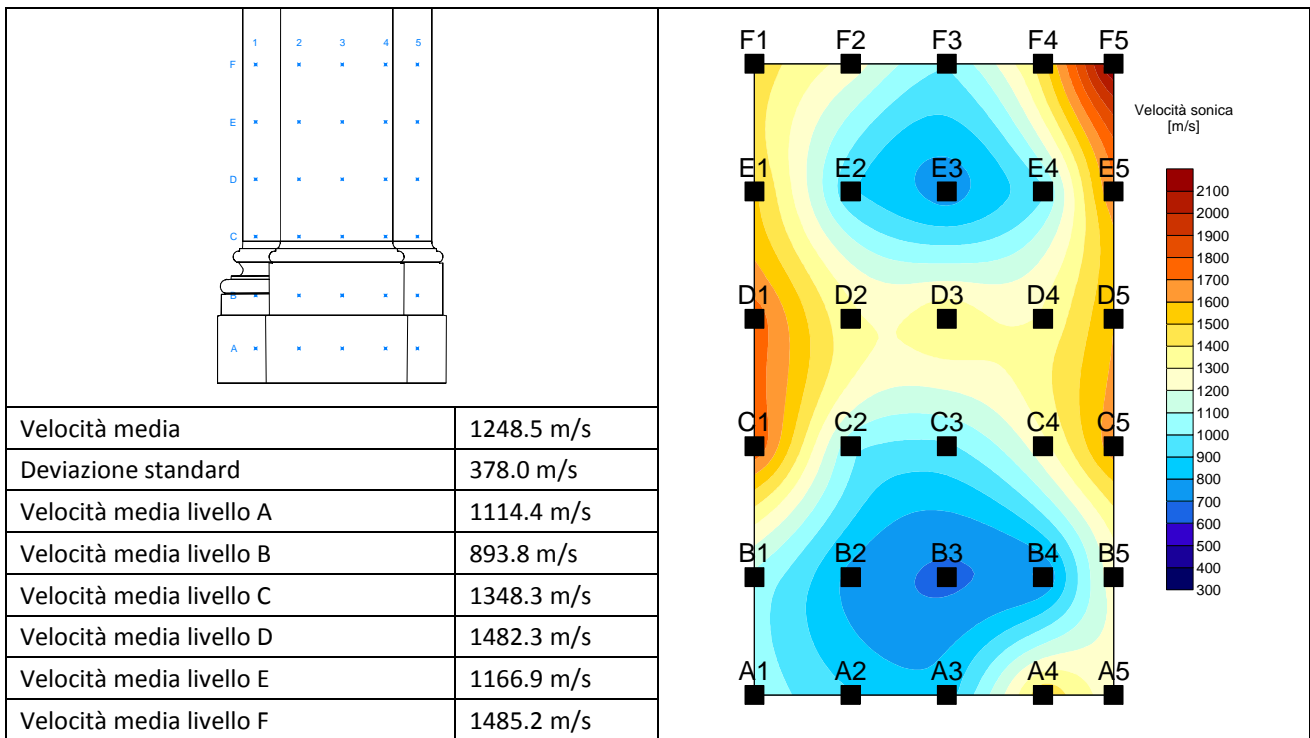


Tabella 6.13 – Scheda riassuntiva dei valori delle prove soniche in direzione 2-4

CAROTAGGIO E VIDEOENDOSCOPIA SB-C4-C2

Il pilastro C è stato caratterizzato anche attraverso un carotaggio, nominato SB-C4-C2, profondo 135cm e in corrispondenza del lato 4. La struttura sembra essere caratterizzata dalla presenza di laterizi nella parte esterna e conci di pietra intervallati da giunti di malta per la rimanente sezione.

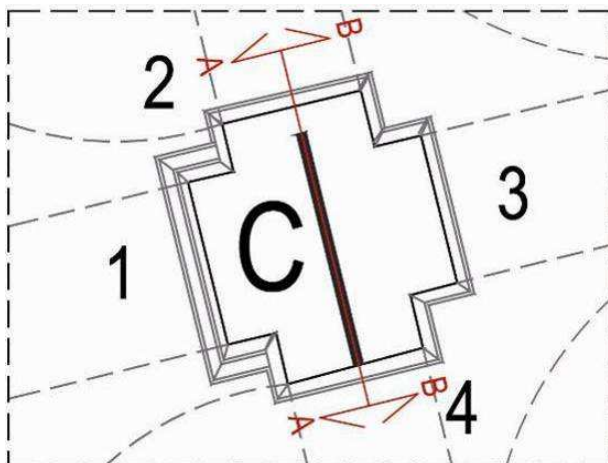


Figura 6.123 – Localizzazione delle prove sul pilastro C.



Figura 6.124 – Vista endoscopica SB-C4-C2.

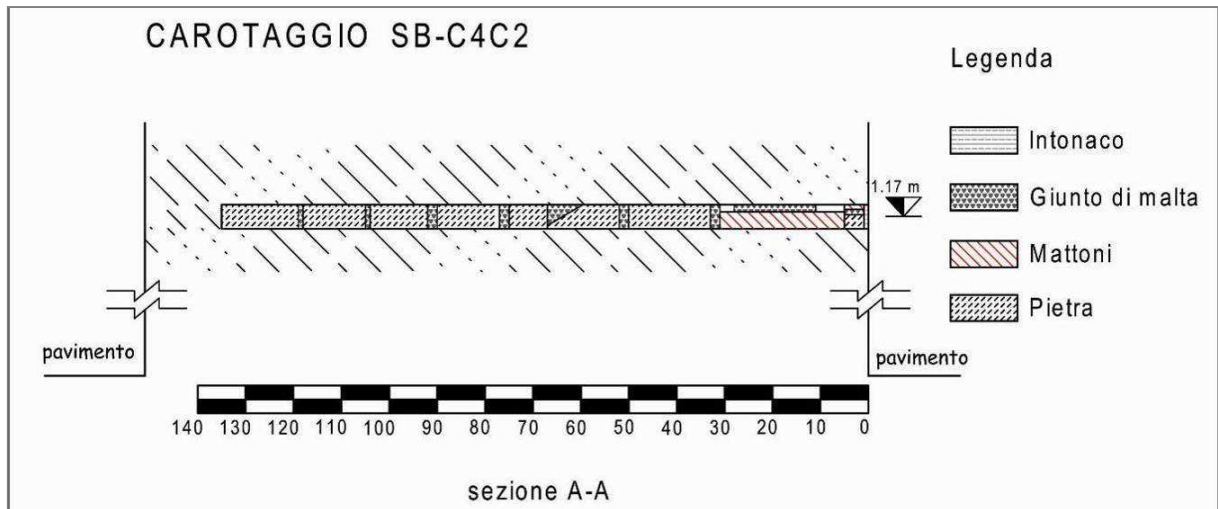


Figura 6.125 – Rappresentazione schematica della stratigrafia osservata con l'esame video endoscopico nella sezione A-A.

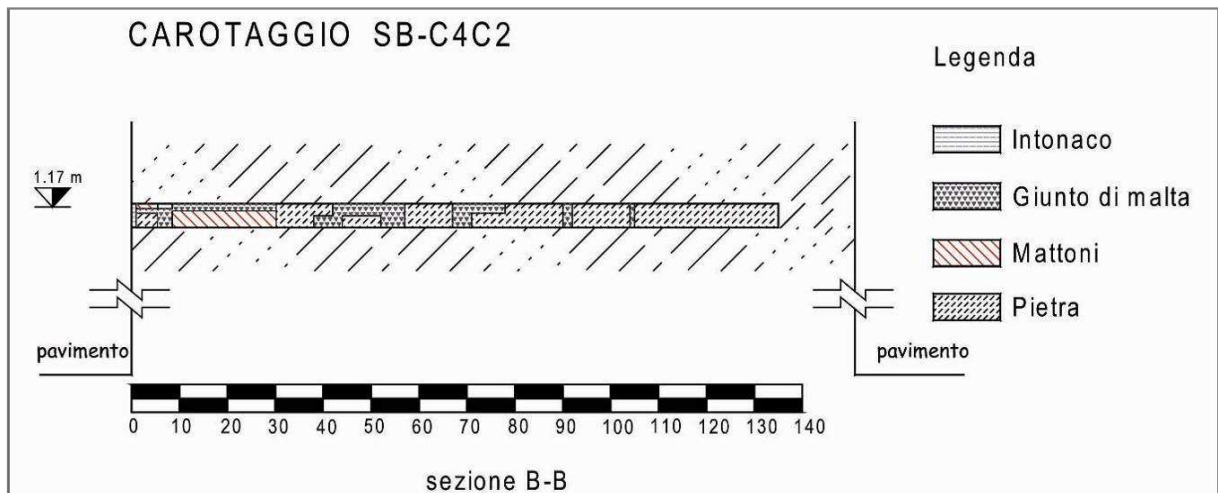


Figura 6.126 – Rappresentazione schematica della stratigrafia osservata con l'esame video endoscopico nella sezione B-B.

ENDOSCOPIE SBC4-E3, SBC4-E5, SBC4-E6

Il pilastro C è stato caratterizzato attraverso anche alcune endoscopie. In particolare l'endoscopia SBC4-E3, effettuata a circa 30cm al di sopra del carotaggio, ha messo in evidenza la presenza di conci di pietra nel paramento esterno.

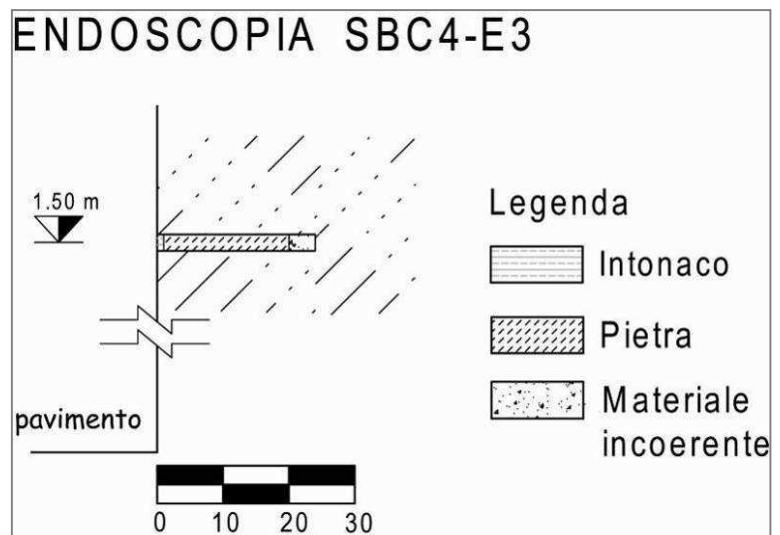


Figura 6.127 e 6.128 – Localizzazione e rappresentazione schematica della stratigrafia osservata con l'esame endoscopico.

In corrispondenza del basamento del pilastro C sono state effettuate due endoscopie con lo scopo di verificare la profondità delle lastre di rivestimento.

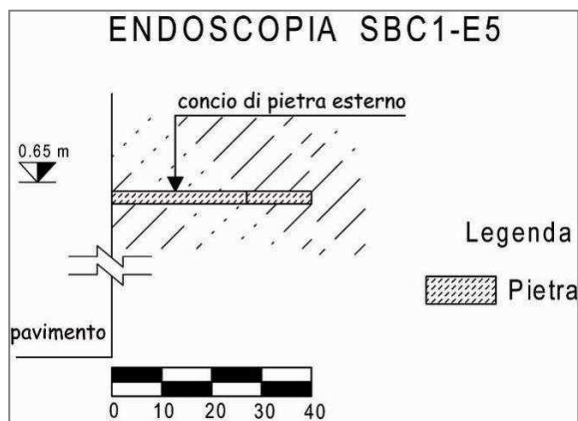


Figura 6.129 – Rappresentazione schematica della stratigrafia osservata.

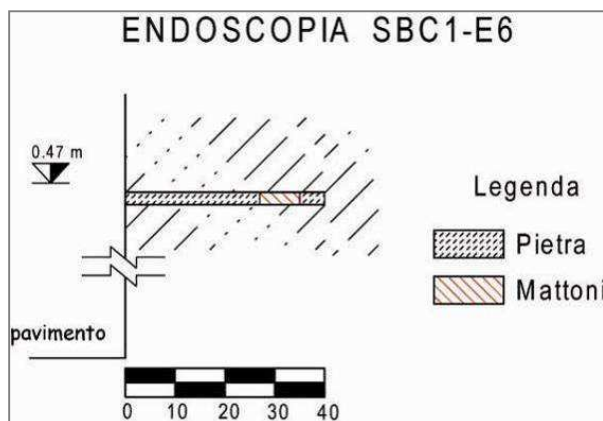


Figura 6.130 – Rappresentazione schematica della stratigrafia osservata.

Mediante il rilievo della stratigrafia nella prova SB-C1-E5 si è messo in evidenza che il blocco di pietra appartenente allo spigolo destro arriva fino ad una profondità di 27cm, mentre la pietra del prospetto frontale ad una profondità di 15 cm. Quest'ultimo concio risulta essere staccato dalla muratura retrostante costituita sempre di conci di pietra. Il rilievo della stratigrafia nella prova SB-C1-E6 ha messo in evidenza due conci di pietra seguiti da un mattone⁴⁹.



Figura 6.131 – Vista dell'interno.

TOMOGRAFIA RADAR

Sui pilastri C e G sono state eseguite 3 tomografie con antenne da 1GHz prodotte dalla MALA.

Nelle immagini seguenti si riporta la geometria delle traiettorie di acquisizione dati e successivamente il risultato delle elaborazioni.

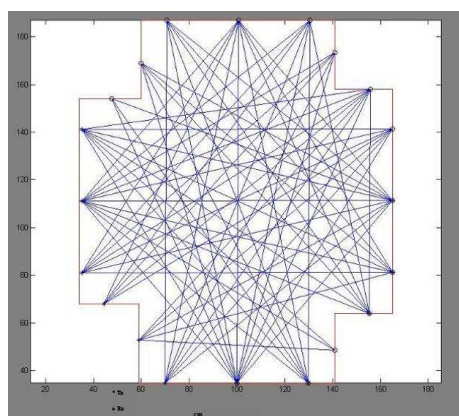


Figura 6.132 – Geometria del pilastro C e traiettorie per l'esecuzione della tomografia.

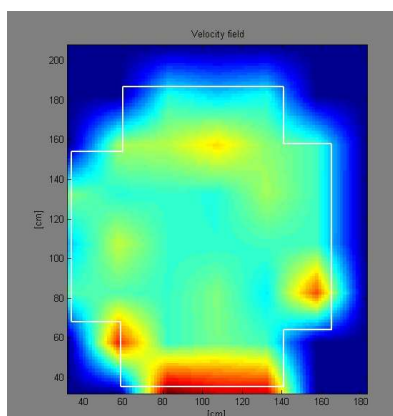


Figura 6.133 – Risultato della tomografia radar.

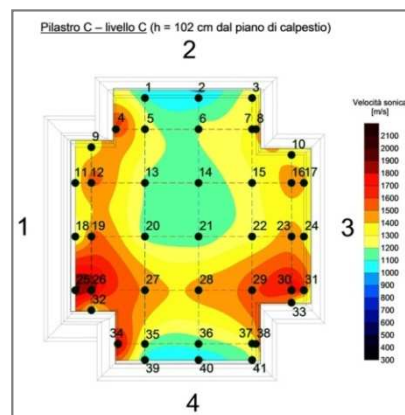


Figura 6.134 – Restituzione grafica dell'indagine sonora eseguita al livello C e confrontabile con i risultati tomografici.

⁴⁹ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila, Milano, Giugno 2010, pp. 52-56.*

Nella figura 6.133 si riesce a vedere il risultato della tomografia radar effettuato sull'elemento C ad un'altezza di circa 90 cm dal piano di calpestio, corrispondente al livello C della prova sonora (confronto con immagine 6.134). Si notano picchi di velocità, ma tale effetto è conseguente agli effetti di bordo che vengono a crearsi a seguito dell'algoritmo di inversione. È possibile però dichiarare che il pilastro non presenta vuoti interni e che le velocità riscontrate esternamente sono mediamente più alte rispetto alle velocità interne alla sezione⁵⁰.

g.3_Caratterizzazione del pilastro D

Anche sul pilastro D sono state effettuate diverse indagini diagnostiche tra cui le indagini soniche, termografiche e due endoscopie.

PROVE SONICHE SB-D-S1-3 e SB-D-S2-4

L'analisi dei risultati delle prove soniche indicano che la struttura del pilastro D è composta da un basamento (livello A) composto da materiali adeguatamente ammortati tra loro. In particolare la fascia di conci di pietra e cornici identificato dal livello B, è caratterizzato da velocità molto elevate: in questo caso la struttura è stata realizzata con consistenti blocchi di pietra ben ammortati tra loro. Velocità nettamente inferiori sono state riscontrate ai livelli superiori, come riportato nella scheda 11⁵¹. Le velocità medie rilevate sono 1471.8 m/s in direzione 1-3 e 980.3 m/s in direzione 2-4.

Nell'allegato 9 vengono riportate le schede riassuntive dei valori di prova ottenuti.

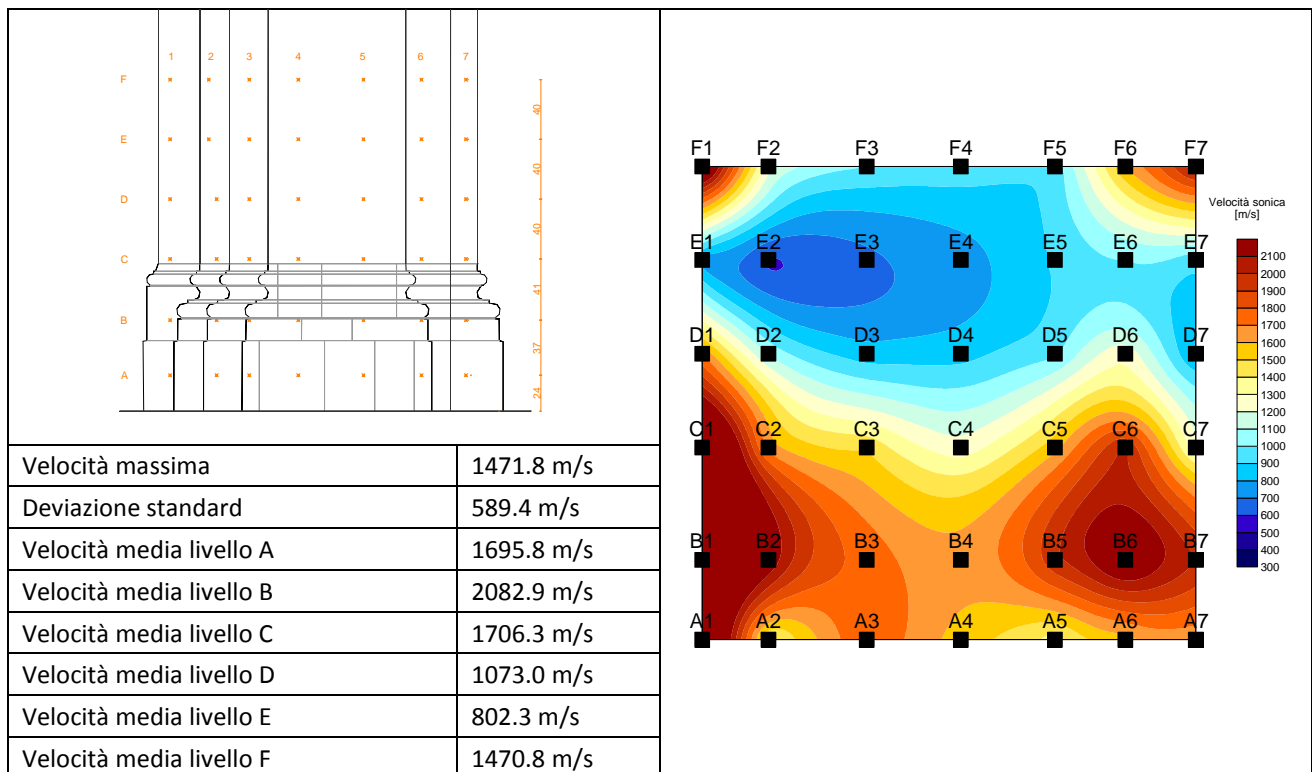


Tabella 6.14 – Scheda riassuntiva dei valori delle prove soniche in direzione 1-3

⁵⁰ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila*, Milano, Giugno 2010, pag. 110.

⁵¹ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila*, Milano, Giugno 2010, pp. 55-58.

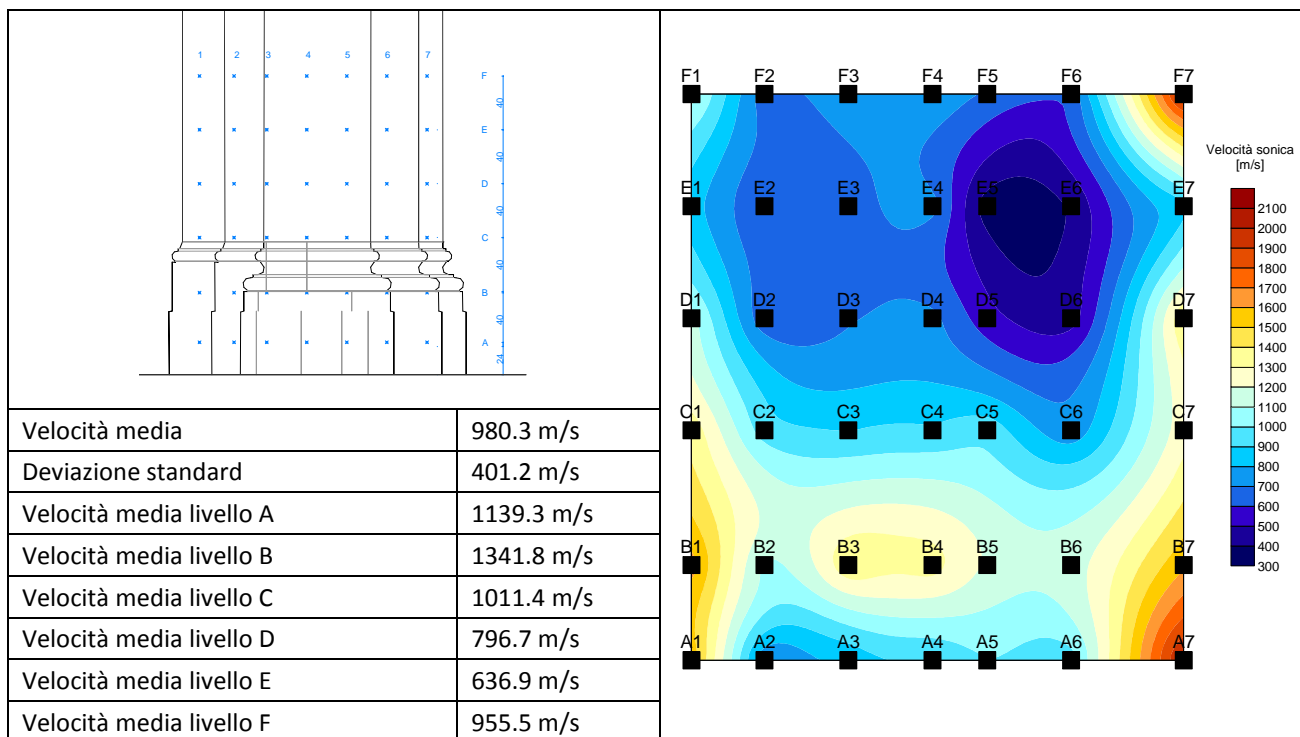


Tabella 6.15 – Scheda riassuntiva dei valori delle prove soniche in direzione 2-4

PROVE TERMOGRAFICHE

Il pilastro D è stato ulteriormente studiato mediante alcune prove termografiche. È stata condotta una prova termografica passiva, inquadrando i lati 1 e 3. La tessitura è percepibile, ma trattandosi di prova con riscaldamento passivo il dettaglio non è ben visibile.

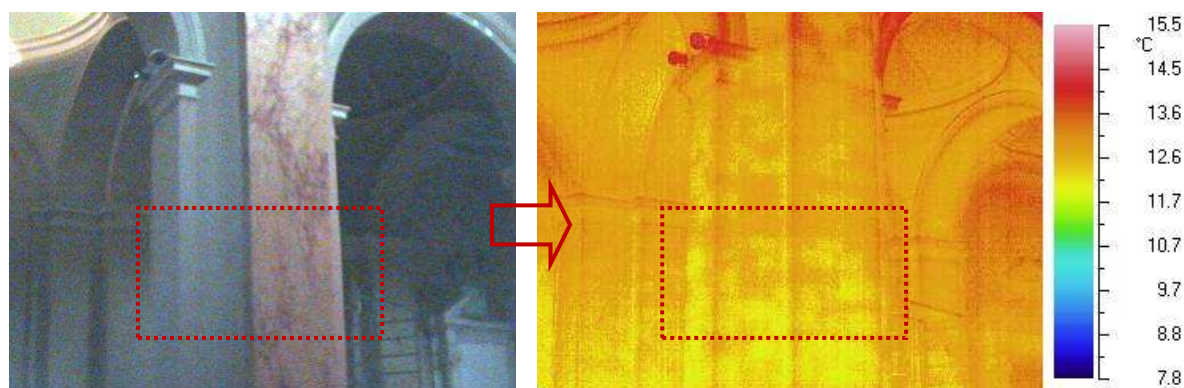


Figura 6.135 – Termografia passiva condotta sul pilastro D.

ENDOSCOPIE SBD2-E1 e SBD2-E2

Oltre alle prove soniche e termografiche presentate nelle schede precedenti, il pilastro D è stato anche caratterizzato mediante endoscopia. Tramite 2 fori realizzati con trapano sono state condotte due osservazioni endoscopiche sul lato 2 e a due quote differenti.

Dallo schema interpretativo della stratigrafia SB-D2-E1 si nota una sezione muraria composta da mattoni verso l'esterno e conci di pietra. Questa disposizione confrontata con la stratigrafia del pilastro C (SB-C2-C4) presenta delle notevoli analogie. Le due ispezioni sono infatti state eseguite a due quote lievemente differenti tra loro.

L'endoscopia SB-D2-E2 effettuata ad una quota di 25 cm più bassa della precedente e appena al di sopra del basamento mette in evidenza una muratura costituita da conci di pietra⁵².

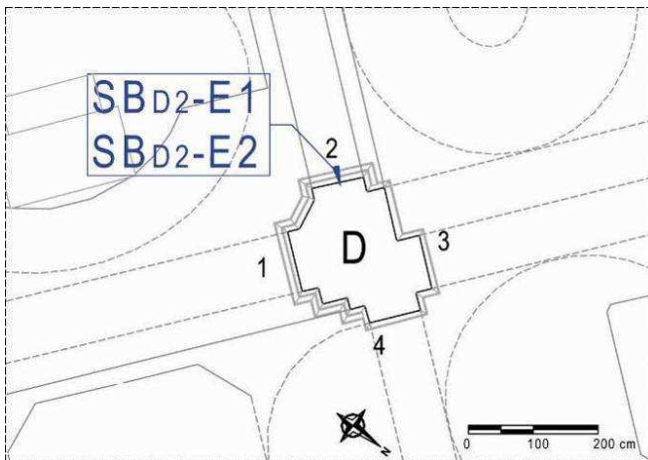


Figura 6.136 – Localizzazione delle prove sul pilastro D.



Figura 6.137 – Localizzazione delle prove.

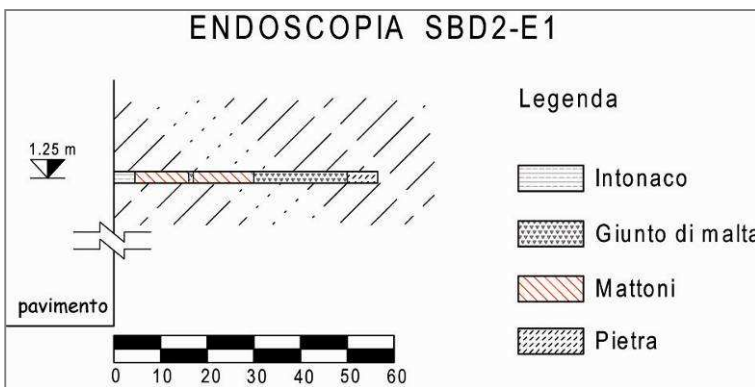


Figura 6.138 – Restituzione grafica della stratigrafia osservata.

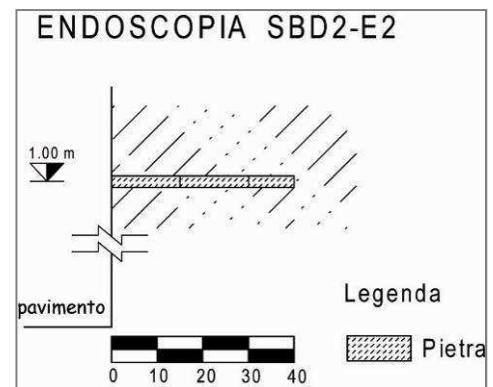
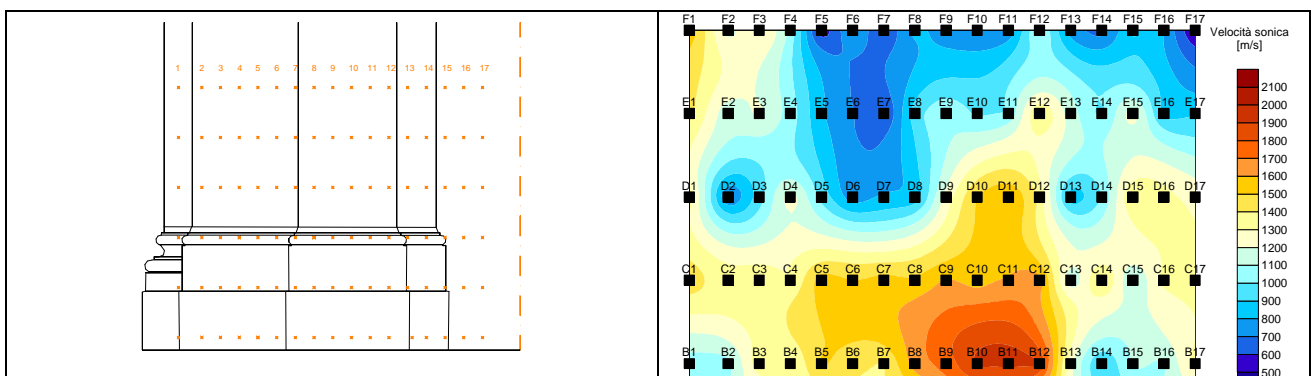


Figura 6.139 – Restituzione grafica della stratigrafia osservata.

g.4_Caratterizzazione del pilastro E

PROVA SONICA SB-E-S1-3

Per quanto riguarda il pilastro E è stato possibile effettuare una sola prova sonica di trasparenza in direzione 1-3, data la particolare conformazione geometrica dell'oggetto da indagare e la sua connessione con in muro absidale ovest. Si sono potute ottenere velocità medie pari 1161.6 m/s.



⁵² Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila, Milano, Giugno 2010, pag. 59.*

Velocità media	1161.6 m/s
Deviazione standard	318.4 m/s
Velocità media livello A	1104.9 m/s
Velocità media livello B	1406.3 m/s
Velocità media livello C	1431.0 m/s
Velocità media livello D	1125.7 m/s
Velocità media livello E	1031.1 m/s
Velocità media livello F	870.7 m/s

Tabella 6.16 – Scheda riassuntiva dei valori delle prove soniche in direzione 1-3

I risultati della prova sono contenuti nell'allegato 10.

g.5_Caratterizzazione del pilastro F

PROVA SONICA SB-F-S1-3

Anche in questo caso, come per il pilastro E, è stato possibile effettuare una sola prova sonica di trasparenza data la conformazione geometrica dell'oggetto da indagare simmetrica rispetto il pilastro precedente ed anch'esso connesso alla muratura absidale. La velocità media di prova è 1018.7 m/s. Nell'allegato 11 vengono riportati i risultati e le schede riassuntivi della prova.

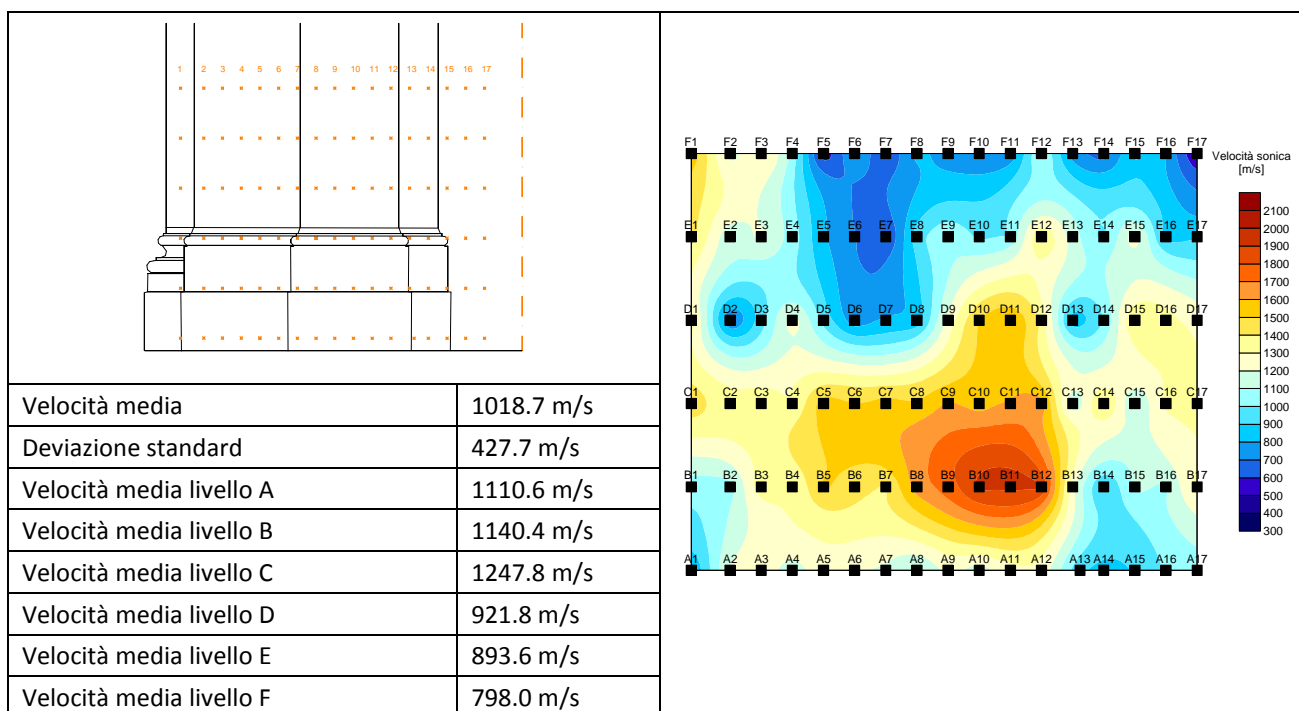


Tabella 6.17 – Scheda riassuntiva dei valori delle prove soniche in direzione 1-3

g.6_Caratterizzazione del pilastro G

Per quanto riguarda il pilastro nominato G, è stato possibile indagarlo profondamente, impiegando la stragrande maggioranza delle indagini a nostra disposizione. È stato possibile effettuare le prove soniche nelle due direzioni, impiegare la termografia, effettuare una tomografia radar, indagare la sezione mediante endoscopia e lo studio delle proprietà meccaniche mediante l'impiego del martinetto piatto.

PROVE SONICHE SB-G-S1-3 e SB-G-S2-4

Sull'elemento G è stata effettuata la prova sonora, nelle modalità dei pilastri B, C, e D, nelle direzioni 1-3 e 2-4, i cui risultati sono stati successivamente mediati tra loro per ottenere una visione dell'andamento delle velocità sonore nelle diverse sezioni del pilastro. Le velocità medie ottenute sono 1488.3 m/s in direzione 1-3 e 1441.5 m/s. Le prove sonore condotte sul pilastro G indicano che la struttura del basamento sembra essere differente da quella del pilastro opposto (pilastro D). Al livello di prova D non si sono riscontrate le stesse velocità, caratterizzate dall'essere molto elevate nell'elemento simmetrico rispetto la navata centrale⁵³.

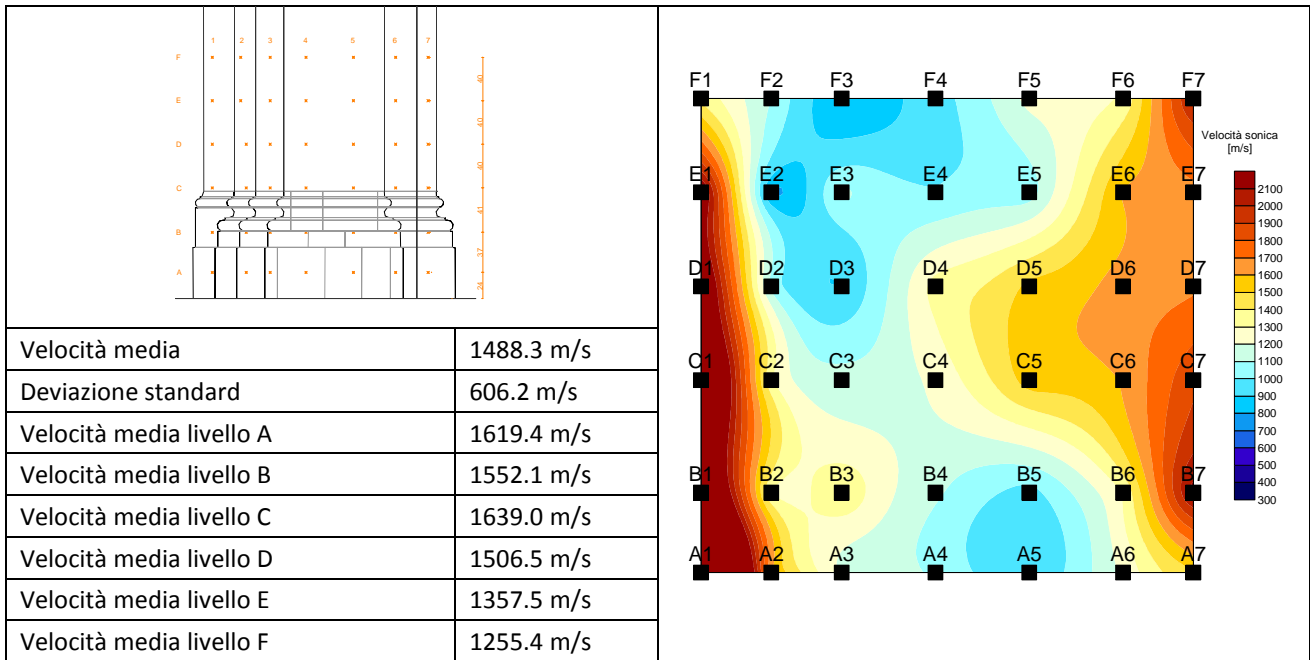


Tabella 6.18 – Scheda riassuntiva dei valori delle prove sonore in direzione 1-3

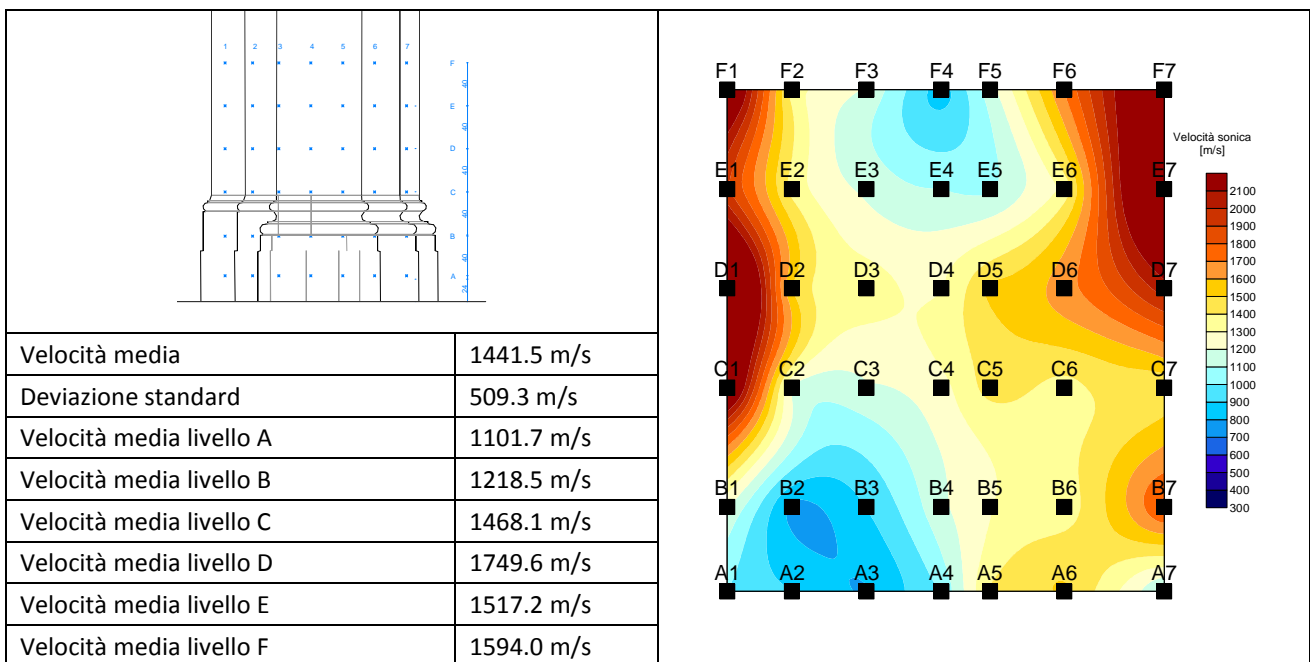


Tabella 6.19 – Scheda riassuntiva dei valori delle prove sonore in direzione 2-4

⁵³ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila"*, Milano, Giugno 2010, pp. 62-65.

I risultati della prova sono contenuti nell'allegato 12.

PROVE TERMOGRAFICHE SB-TG3 e SB-TG4

Sul pilastro G sono state condotte prove di termografia attiva sui lati 3 e 4. In questo caso il profilo geometrico dei conci di pietra è ben riconoscibile. Attraverso il software di elaborazione sono state anche stimate le proporzioni di alcuni elementi lapidei.

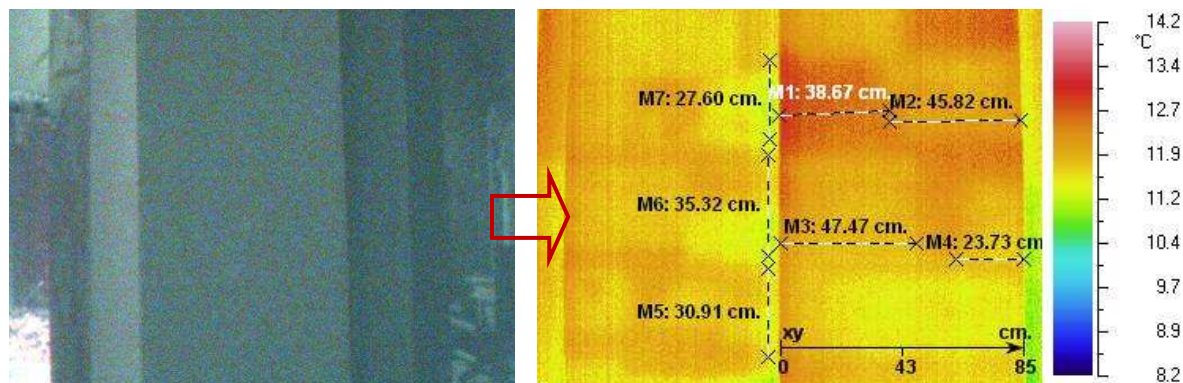


Figura 6.140 – Termografia attiva SB-TG3.

PROVE RADAR

Successivamente alla indagini soniche e termografiche, sul pilastro G, sono state condotte le prove radar per poter approfondire le deduzioni tratte dalle prove precedenti. Si è scelto di eseguire il test con l'antenna di media frequenza pari a 600 MHz per permettere al segnale di penetrare per tutto lo spessore del pilastro con una risoluzione accettabile per l'interpretazione del dato. La prova ha preso in esame una porzione considerevole dello sviluppo verticale del pilastro. Lo strumento è stato fatto scorrere verticalmente lungo profili affiancati, sui lati 1, 2, 3 e 4 del pilastro G. I dati in questione sono stati elaborati attraverso volumi 3D, con software dedicato sviluppato dal Politecnico di Milano, che permette l'elaborazione dell'intero volume, applicando lo stesso processing ai vari profili in esso contenuti.

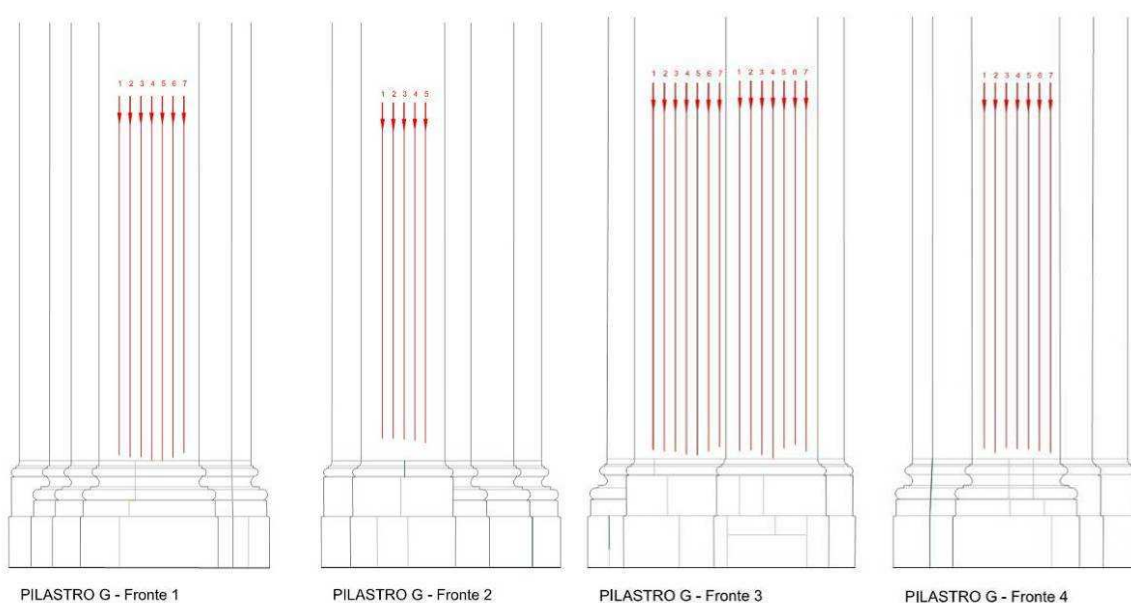


Figura 6.141 – Geometria di acquisizione dei profili sui lati 1, 2, 3 e 4 del pilastro G. A causa della geometria piuttosto complessa si è scelto di condurre delle acquisizioni di dati su tutti i lati della struttura.

Di seguito vengono presentati dei profili che mostrano, in superficie, le iperboli che delimitano i vari corsi, ad una profondità variabile tra i 30 e i 60 cm. Si rilevano iperboli dovute a diffrazioni che possono essere associate alla conclusione del primo strato del paramento più esterno. La profondità complessiva associata a questo profilo è di 2 metri circa. Guardando la pianta e la distribuzione della geometria di questi profili, ci si può accorgere che il profilo è situato nel punto in cui il pilastro raggiunge la massima profondità, rispetto alla direzione trasversale alla navata. I profili 5 e 7, nelle figure seguenti mostrano come lo spessore diminuisca in quanto anche lo spessore reale del pilastro stesso subisce una riduzione.

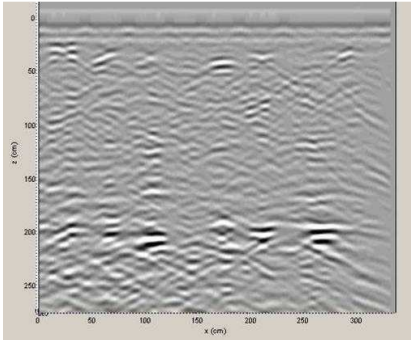


Figura 6.142 – Profilo 1 del lato 1 del pilastro G.

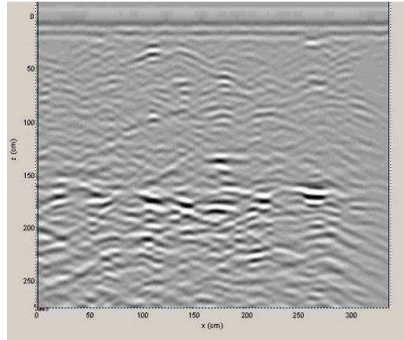


Figura 6.143 – Profilo 5 del lato 1 del pilastro G.

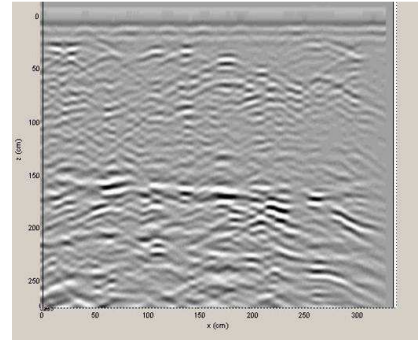


Figura 6.144 – Profilo 7 del lato 1 del pilastro G.

L'indagine ha mostrato che l'elemento non presenta danni critici al suo interno. I profili sono, per la maggior parte regolari, senza dare indicazioni di vuoti o fessure interne⁵⁴.

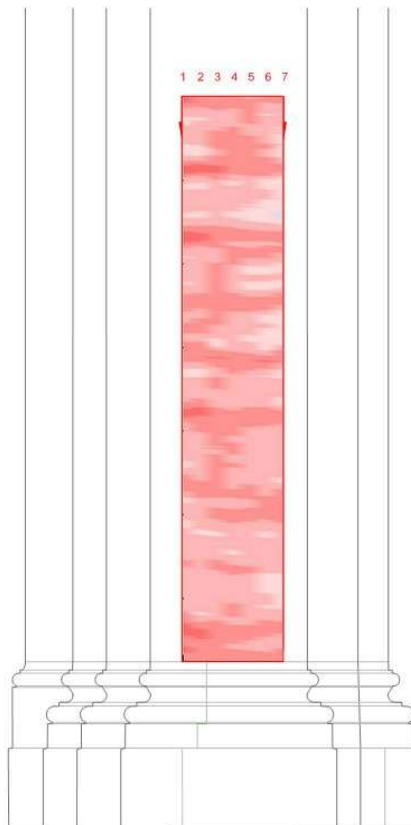


Figura 6.145 – Radargramma del volume 3D alla profondità di 8cm ricavato dalla prova condotta sul lato 1 del pilastro G. Si osserva l'alternanza delle pietre e la difficoltà, dovuta allo strumento, di mettere in evidenza i corsi dei mattoni.

⁵⁴ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila, Milano, Giugno 2010, pp. 108-109.*

TOMOGRAFIA RADAR

Al fine di confermare le deduzione raggiunte mediante le prove eseguite sul pilastro in questione si è scelto di eseguire anche una tomografia radar. Le acquisizioni sono state eseguite, come nella tomografia relativa al pilastro C con antenne da 1GHz prodotte dalla MALA.

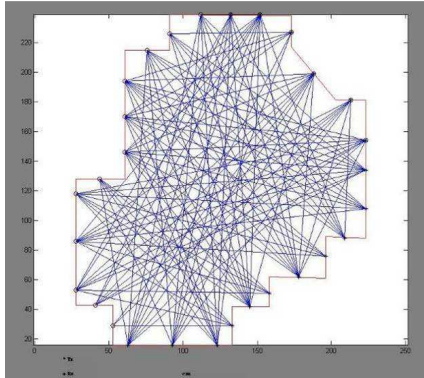


Figura 6.146 – Geometria del pilastro e traiettorie impiegate per la tomografia.

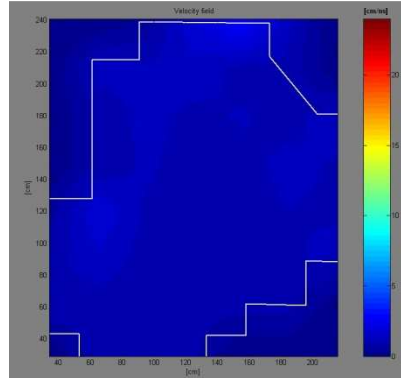


Figura 6.147 – Risultato della tomografia radar effettuata alla base del basamento.

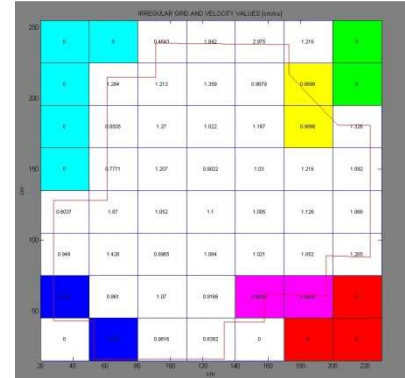


Figura 6.148 – Indicazione dei valori del campo di velocità.

A seguito di un errore nella visualizzazione del risultato della tomografia eseguita, le velocità sono state scalate di un fattore -10. Per poter legger i risultati si è redatta una tabella (figura 6.148) nella quale i dati sono moltiplicati per un fattore 10 per ottenere il valore reale della velocità in cm/ns.

Le informazioni ricavate dall'indagine mostrano che la velocità media della tomografia, rispecchia la velocità individuata con i profili a riflessione (9,9 cm/ns). si conferma che l'interno del pilastro, a questa altezza, è omogeneo e senza cavità⁵⁵.

ENDOSCOPIA SB-G1-E4

Il pilastro G è stato anche caratterizzato mediante l'endoscopia SB-G1-E4 eseguita sul lato 1.

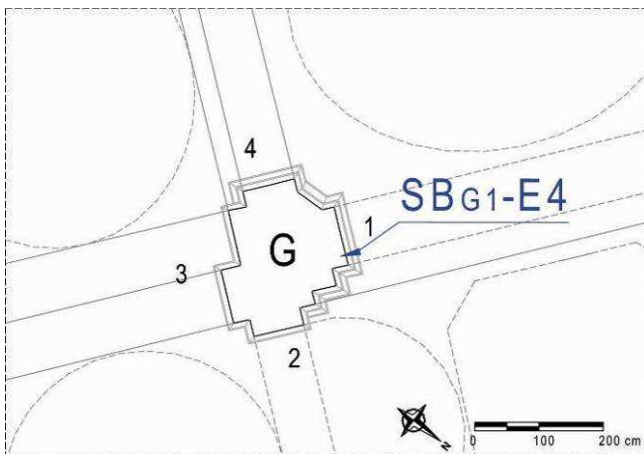


Figura 6.149 – Localizzazione della prova.

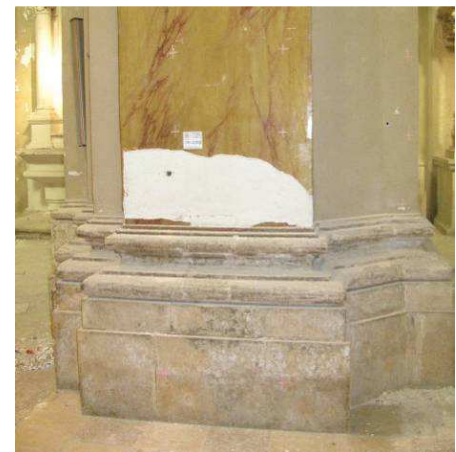


Figura 6.150 – Localizzazione della prova.

⁵⁵ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila"*, Milano, Giugno 2010, pp. 110-111.

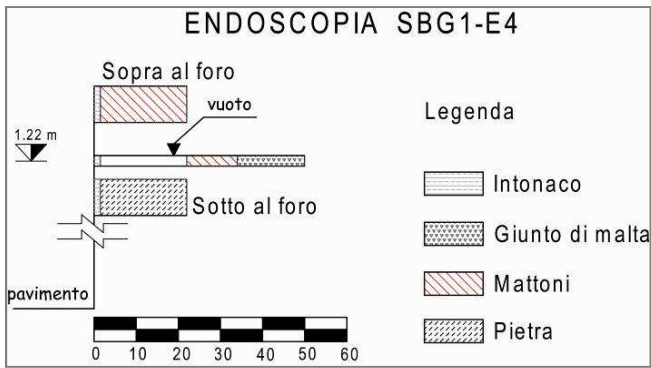


Figura 6.151 – Ricostruzione della stratigrafia osservata.



Figura 6.152 – Vista interna.

Il rilievo della stratigrafia (SB-G1-E4) ha messo in evidenza la presenza di una buca puntaia profonda circa 20cm⁵⁶.

PROVA CON MARTINETTO PIATTO SINGOLO SB-J3S



Figura 6.153 – Prova SB-J3S condotta sul pilastro G.

Successivamente alle indagini precedentemente descritte, il pilastro G è stato caratterizzato tramite prova con martinetto piatto singolo.

Dall'andamento dei diagrammi di prova, si nota una distribuzione omogenea dello sforzo. Dei 4 punti di controllo dello spostamento verticale applicati alla muratura, solo il quarto non ha raggiunto la distanza misurata prima di eseguire il taglio nella muratura⁵⁷. Lo stato di sforzo stimato è pari a 0.58 N/mm². Al termine della prova sono state eseguite delle ispezioni asportando alcuni elementi lapidei in corrispondenza del taglio effettuato per eseguire la prova con il martinetto piatto singolo⁵⁸.

Nell'allegato 13 sono raccolte le tabelle dei valori ottenuti dalla prova e i grafici corrispondenti.

Base n.	Sforzo (N/mm ²)
1	0.62
2	0.62
3	0.58
4	0.50
Sforzo medio	0.58

Tabella 6.20 – Valori di ripristino calcolati con la prova SB-J3S.

⁵⁶ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila*, Milano, Giugno 2010, pag. 66.

⁵⁷ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila*, Milano, Giugno 2010, pp. 79-81.

⁵⁸ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila*, Milano, Giugno 2010, pp. 79-81.

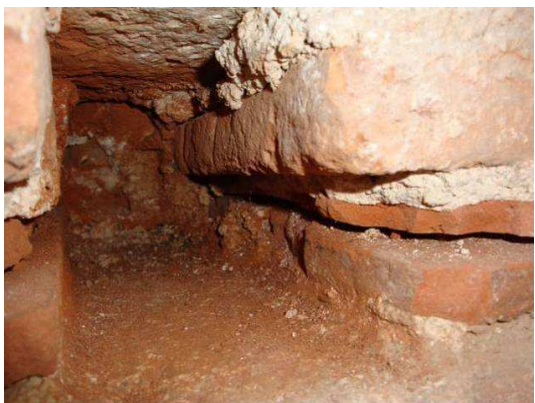


Figura 6.154 – Smontaggio parziale della muratura in corrispondenza del taglio per la prova con martinetto piatto.

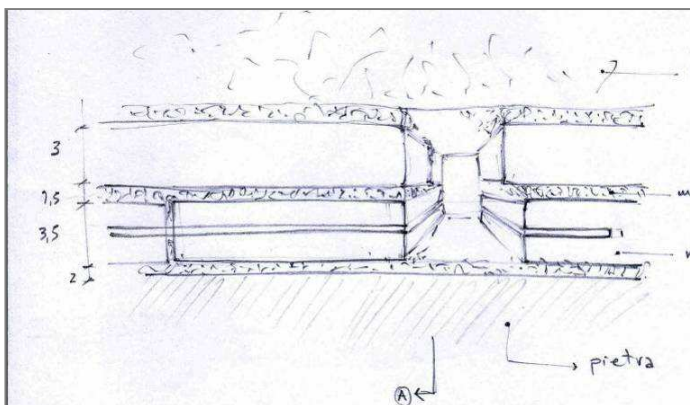


Figura 6.155 – Schizzo mostrante la tessitura muraria visibile dopo lo smontaggio parziale della muratura.

L'ispezione effettuata in corrispondenza del taglio della prova SB-J3S ha permesso di rilevare la presenza di una buca puntaia profonda circa 26 cm⁵⁹.

g.7_Caratterizzazione del pilastro H

Anche il pilastro H è stata possibile una indagine approfondita mediante l'impiego di un gran numero delle indagini a nostra disposizione. È stato possibile effettuare le prove soniche nelle due direzioni, impiegare la termografia, effettuare prove radar, indagare la sezione mediante endoscopia e lo studio delle proprietà meccaniche mediante l'impiego del martinetto piatto.

PROVE SONICHE SB-H-S1-3 e SB-H-S2-4

La distribuzione delle velocità ottenuta dalle prove condotte sul pilastro H non è molto differente da quella osservata nei pilastri B e C. Si sono di fatto ottenute velocità medie pari a 1316.0 m/s in direzione 1-3 e 1617.3 m/s in direzione 2-4.

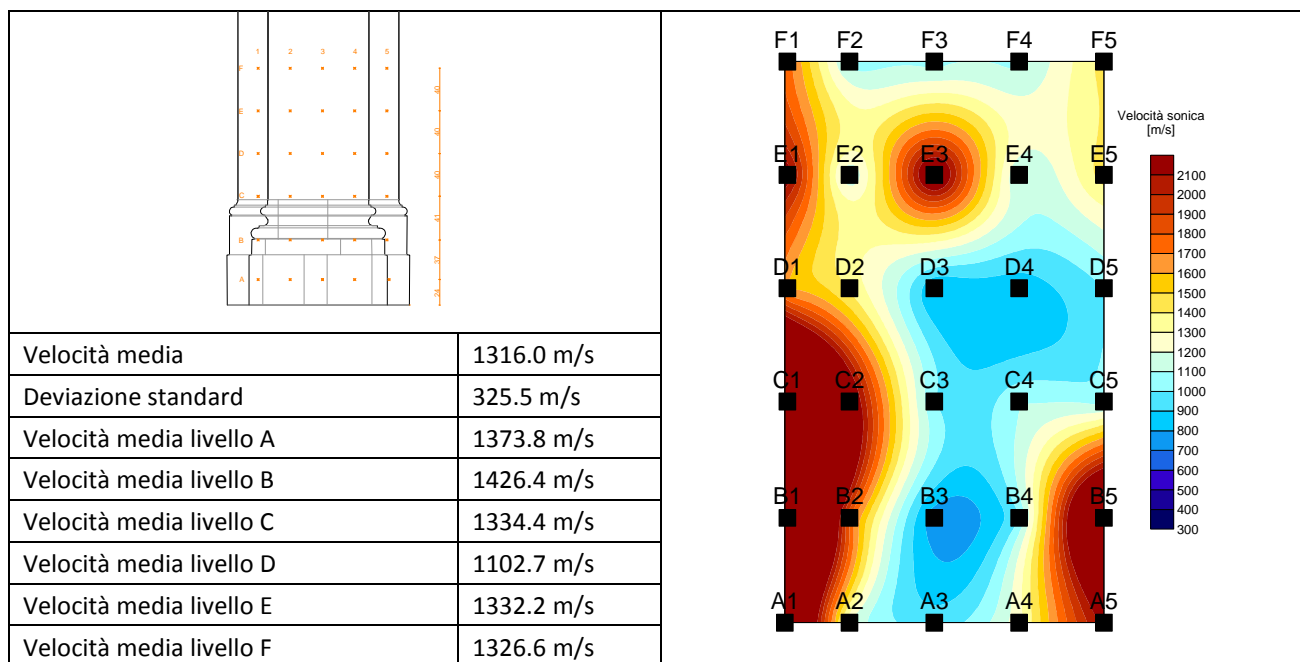


Tabella 6.21 – Scheda riassuntiva dei valori delle prove soniche in direzione 1-3

⁵⁹ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila, Milano, Giugno 2010, pp. 79-81.*

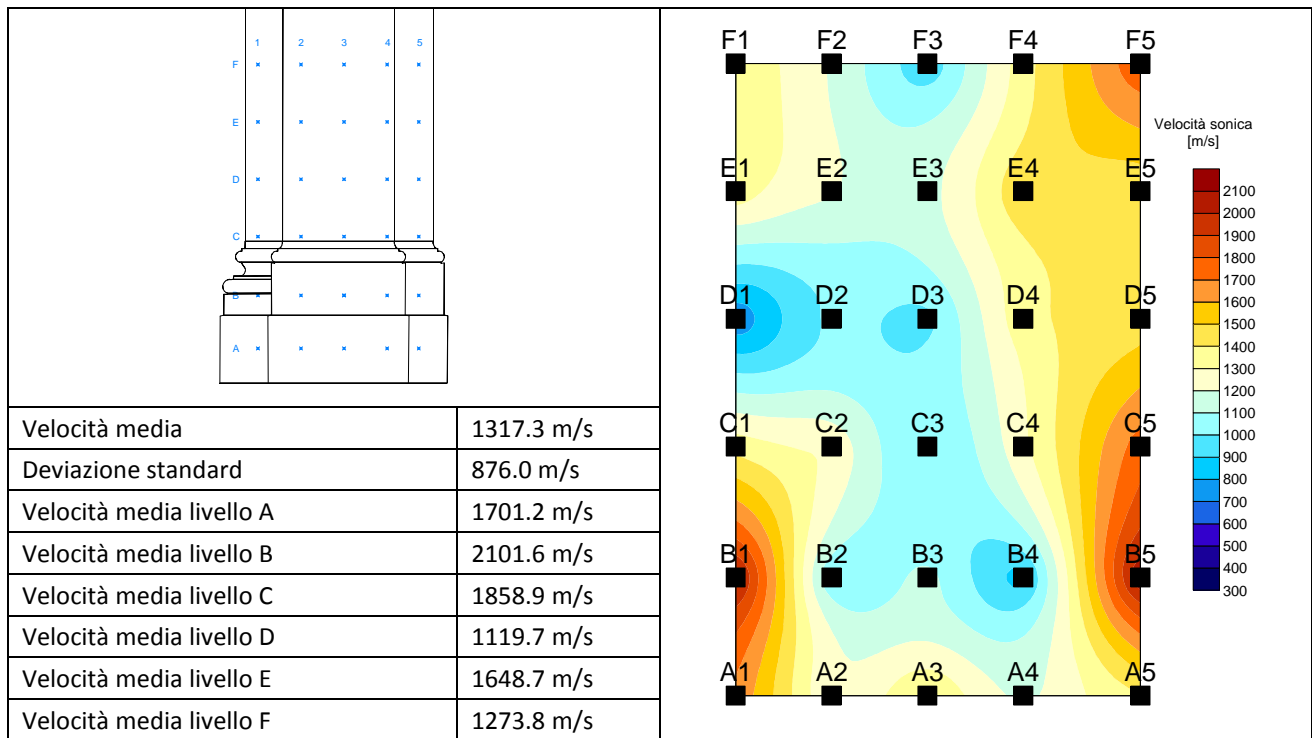


Tabella 6.22 – Scheda riassuntiva dei valori delle prove soniche in direzione 2-4

PROVA TERMOGRAFICA SB-TH3

Sul pilastro H sono state eseguite delle prove termografiche in modalità attiva sul lato 3, sono state ottenute utili informazioni per identificare l'apparecchio murario presenti al di sotto dell'intonaco: come ci si aspettava, a seguito dei risultati della medesima indagine condotti sugli altri pilastri, la tessitura muraria è identificabile come composta da elementi lapidei quadrati intervallati da corsi di laterizi.

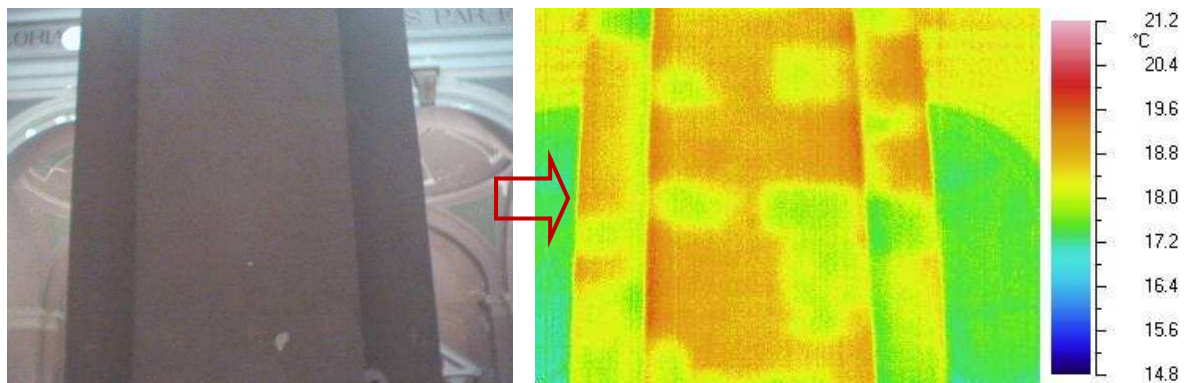


Figura 6.126 – Termografia attiva condotta sul pilastro H.

PROVE RADAR

Come per la sequenza adottata per indagare il pilastro G, dopo le prove soniche e termografiche, si è eseguito lo studio dell'apparecchiatura muraria mediante indagini radar. Le acquisizioni sono state eseguite, come precedentemente illustrato, con l'antenna di media frequenza, pari a 600 MHz, per permettere al segnale di penetrare per tutto lo spessore del pilastro, con una risoluzione accettabile per l'interpretazione del dato.

La prova ha preso in esame una porzione considerevole dello sviluppo verticale del pilastro, facendo scorrere verticalmente l'antenna lungo profili affiancati, sui lati 1, 2 e 3 del pilastro H. I dati così raccolti sono stati elaborati attraverso volumi 3D, con software dedicato sviluppato dal Politecnico di Milano, che

permette l'elaborazione dell'intero volume, applicando lo stesso processing ai vari profili in esso contenuti. Sul lato 3 del pilastro H è stata effettuata anche un'acquisizione 3D utilizzando il sistema PSG. Il risultato ottenuto è perfettamente confrontabile con quanto ricavato attraverso la prova termografia eseguita sempre sullo stesso lato del pilastro H: entrambi i metodi di indagine sono utili per identificare la geometria del paramento murario nascosto al di sotto dell'intonaco. Di seguito si presenta un esempio di acquisizione su pilastro.

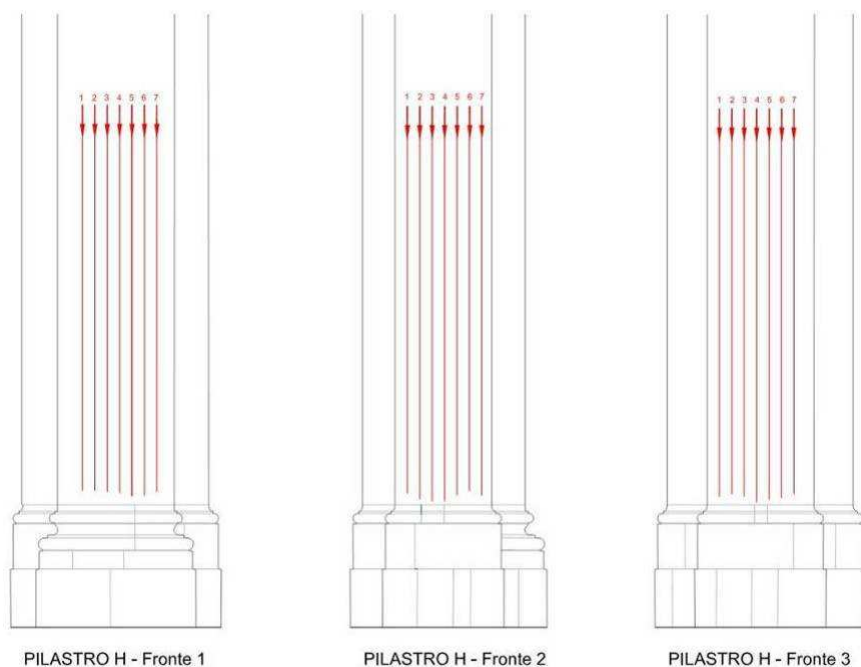


Figura 6.157 – Geometria di acquisizione per i profili verticali del pilastro H.

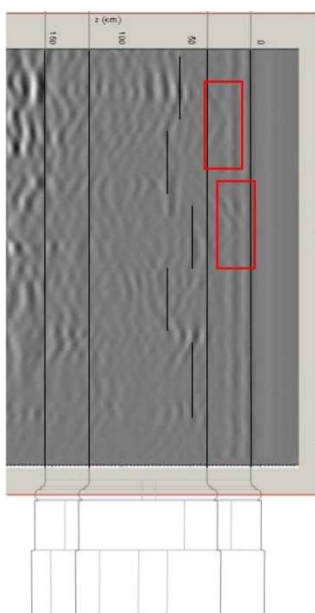


Figura 6.158 – Esempio di sovrapposizione della geometria del pilastro e un profilo radar.

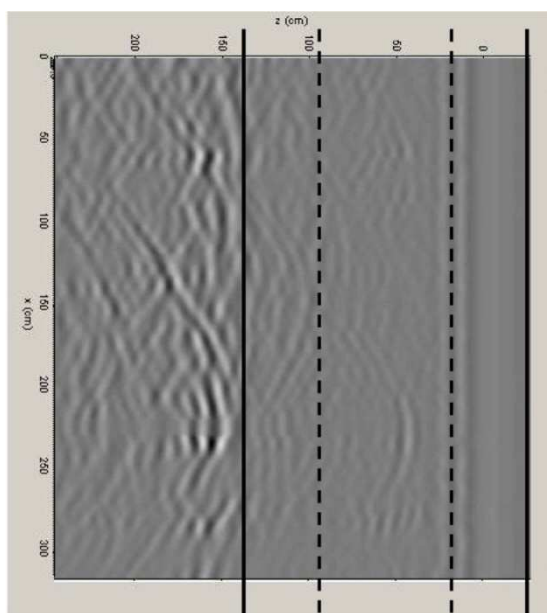


Figura 6.159 – Radargramma riferito al quarto profilo.

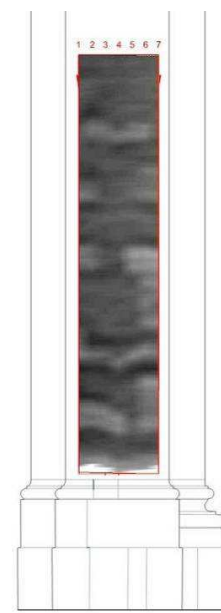


Figura 6.160 – Radargramma riferito al volume dati 3D ad una profondità di 4 cm.

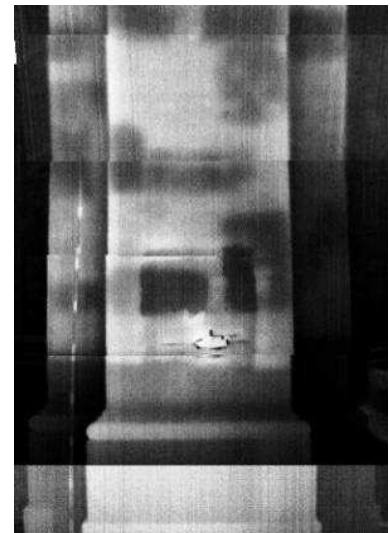
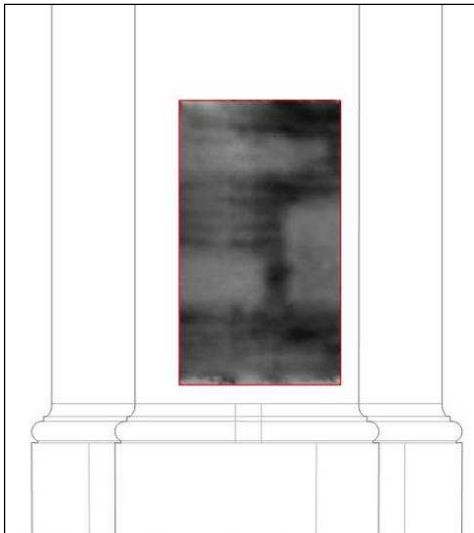


Figura 6.161 e 6.162 – Confronto della restituzione finale del radargramma 3D (immagine a sinistra) con la termografia in scala di grigi (immagine a destra). Si può notare la perfetta corrispondenza dei risultati.

Esaminando i risultati ottenuti è stato possibile definire che anche questo pilastro non presenta lesioni critiche al proprio interno; i profili analizzati non hanno mostrato la presenza di vuoti o fratture⁶⁰.

SAGGIO STRATIGRAFICO AQ-SBSA4

Un ulteriore conferma a riconoscimento della tessitura muraria esaminata grazie all'indagine termografica e alle elaborazioni radar, è stato dato dal saggio stratigrafico AQ-SBSa4 realizzato sul pilastro H lato 4. L'indagine evidenzia un intonaco a due strati: un arriccio caratterizzato da una colorazione bianca e uno strato di finitura di 4 mm, al di sotto della stratigrafia descritta si sono potuti vedere grossi conci di pietra squadrata e di laterizie proprio come ipotizzato. Grazie all'esecuzione del saggio, si è potuto, inoltre, osservare una buona compattezza delle murature e dei materiali⁶¹.

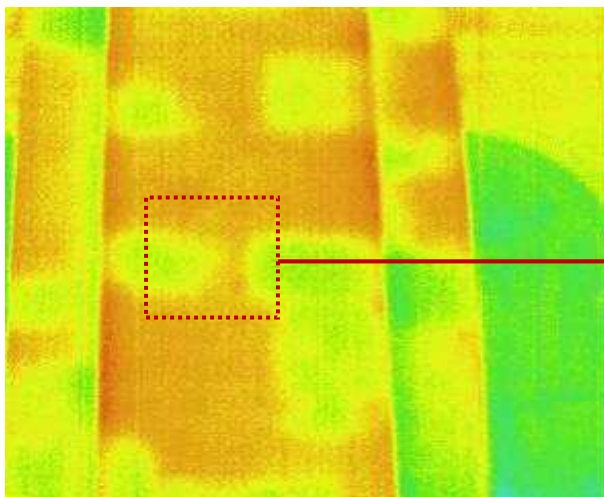


Figura 6.163 – Immagine termografica della tessitura muraria.

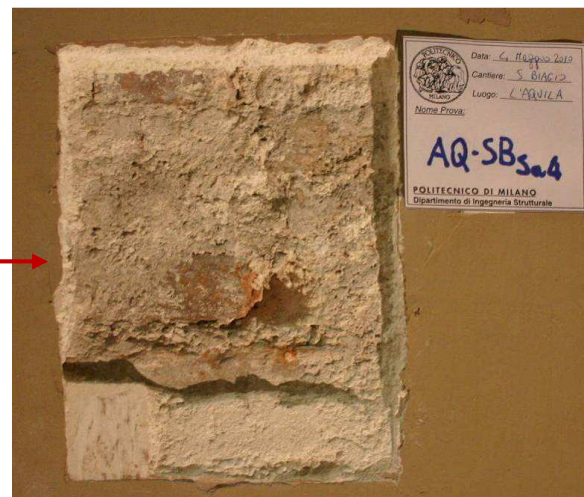


Figura 6.164 – Particolare dei due strati di intonaco sovrapposti, delle pietre e del mattone.

⁶⁰ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila*, Milano, Giugno 2010, pp. 79-81.

⁶¹ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila*, Milano, Giugno 2010, pag 116.

PROVA CON MARTINETTO PIATTO SINGOLO SB-J4S

Come ultima indagine sul pilastro H è stata eseguita la prova con martinetto piatto seguita da parziale smontaggio dell'apparecchiatura muraria in corrispondenza del taglio effettuato per lo svolgimento del test. I valori ottenuti dalla prova con martinetto piatto singolo condotta sul lato 3 del pilastro H sono contenuti nell'allegato 15. Lo stato di sforzo stimato è risultato essere pari a 0.71 N/mm^2 .

Base n.	Sforzo (N/mm^2)
1	0.78
2	0.78
3	0.66
4	0.62
Sforzo medio	0.71

Tabella 6.23 – Valori di ripristino calcolati con la prova SB-J46.

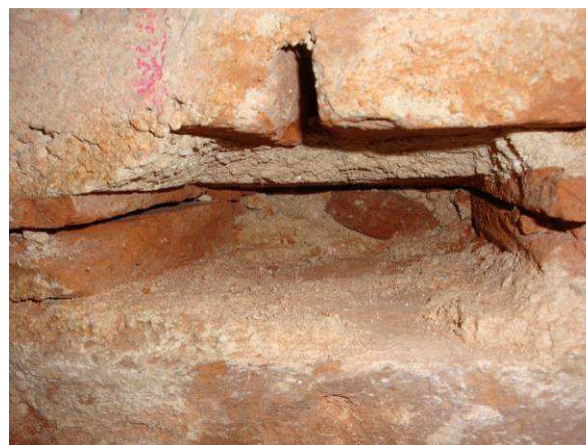


Figura 6.165 e 6.166 – Smontaggio parziale della muratura in corrispondenza del taglio della prova SB-J4S.

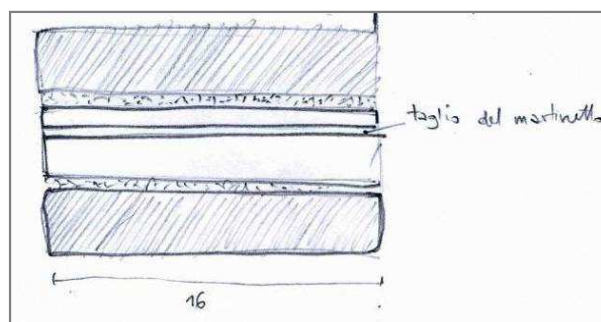
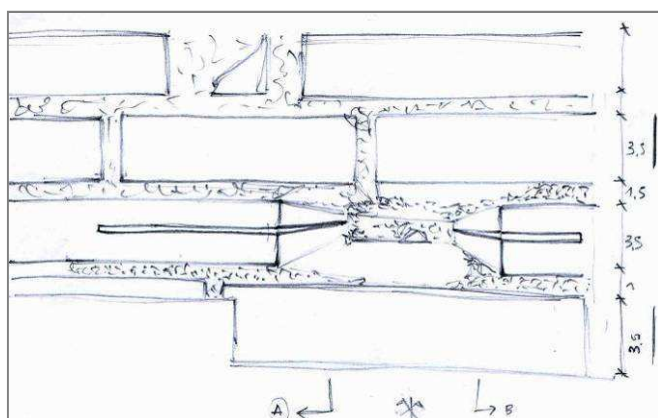


Figura 6.167 e 6.168 – Schizzi illustranti la tessitura muraria visibile dopo l'esecuzione dello smontaggio parziale della muratura.

L'ispezione effettuata in corrispondenza del taglio della prova SB-J4S ha permesso di constatare che alla profondità di circa 16cm è presente ancora un muratura in mattoni⁶².

⁶² Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila, Milano, Giugno 2010, pp. 82-84.*

g.8_Caratterizzazione del Pilastro I

PROVE SONICHE SB-I-S1-3 E SB-I-S2-4

Sul pilastro I, l'ultimo ad essere stato indagato, si è operata la sola prova sonora nelle due direzioni 1-3 e 2-4. Proprio su questo elemento si è potuto constatare una maggiore omogeneità nei valori di velocità sonore ottenuti rispetto tutti gli altri pilastri osservati. Le velocità medie rilevate sono 1711.9 m/s nella direzione 1-3 e 1710.3 m/s nella direzione 2-4.

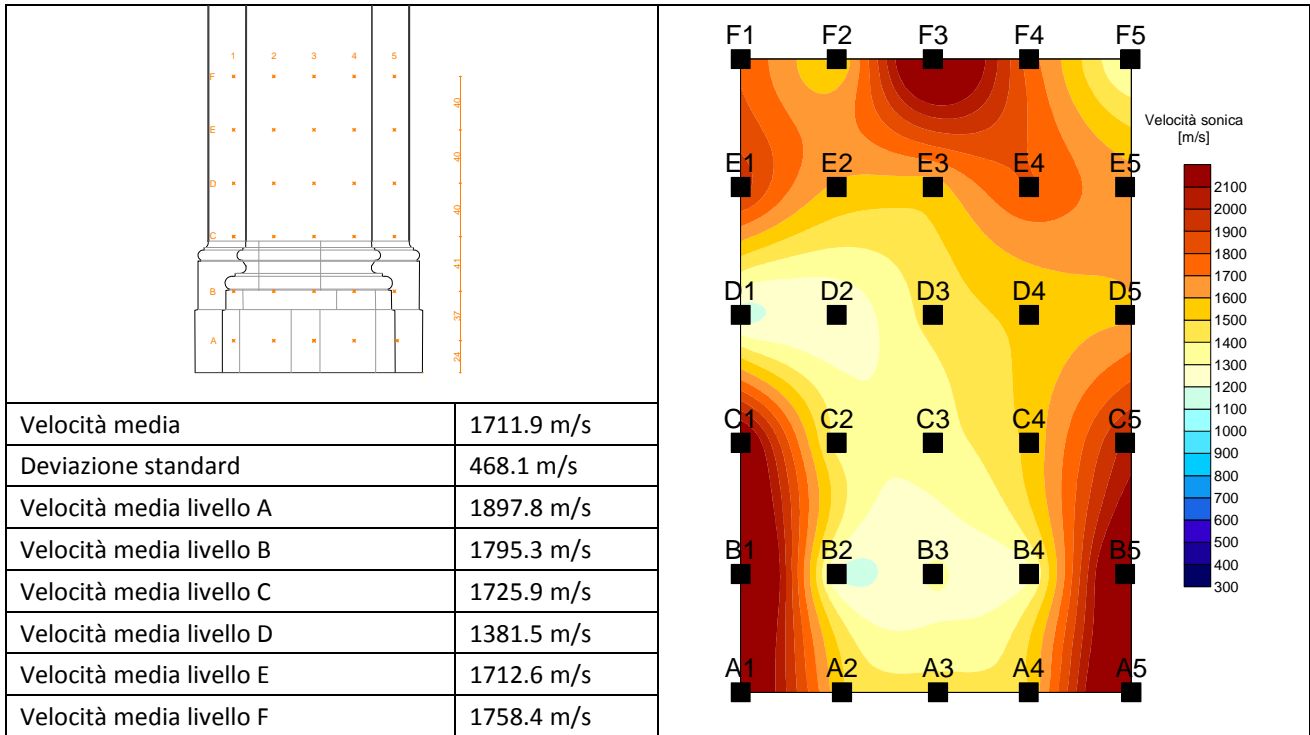


Tabella 6.24 – Scheda riassuntiva dei valori delle prove soniche in direzione 1-3

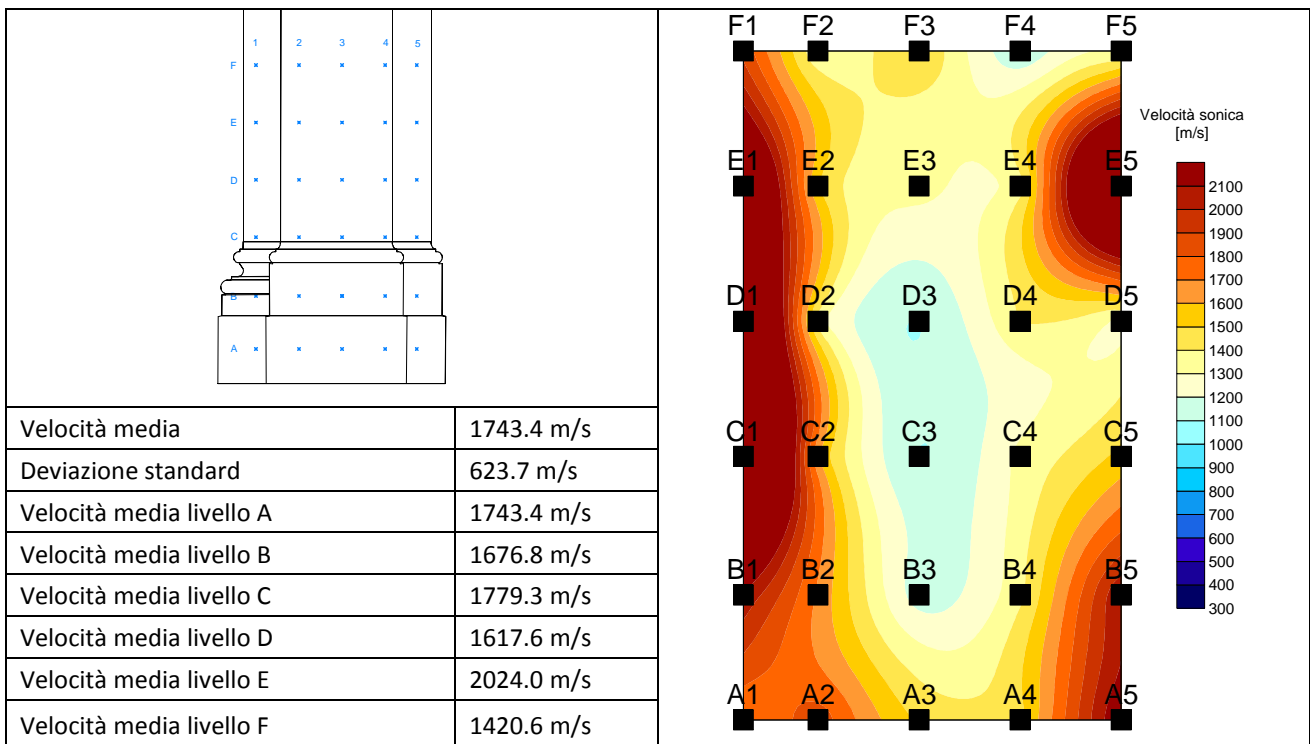


Tabella 6.25 – Scheda riassuntiva dei valori delle prove soniche in direzione 2-4

In questo caso l'influenza di lastre di pietra distaccate alla base del pilastro è quasi assente, o comunque trascurabile. La variazione nella distribuzione delle velocità riscontrate per i livelli C, D, E ed F può essere messa in relazione ancora una volta con la presenza di buche puntaie aperte all'interno del pilastro⁶³.

I dati e le schede relative alla prova sono contenuti nell'allegato 16.

g.9 Commenti ai risultati

Tutti i pilastri presenti all'interno della chiesa sono stati sottoposti a prova sonica di trasparenza nelle due direzioni 1-3 e 2-4, eccetto il pilastri E ed F che sono stati esaminati solo nel senso 1-3 in quanto adiacenti al muro absidale. Di seguito si confrontano le velocità rilevate.

Da quanto emerge dall'analisi delle velocità medie, massime e minime riscontrate per ciascun livello, nelle due direzioni di prova, è possibile dedurre che generalmente i valori di velocità più bassi si riscontrano al livello di prova A, più lenti soprattutto in direzione 1-3. Tale "rallentamento" dell'onda sonora si imputa al parziale distacco delle lastre lapidee che rivestono i basamenti dei pilastri stesso, probabilmente a seguito della sollecitazione longitudinale della navata, tali rivestimenti hanno subito una sollecitazione maggiore proprio in questa direzione. Altri punti problematici sono riscontrabili nelle aree contenute tra i livelli di prova D ed F. Anche in questo caso il danno è confrontabile con il quadro fessurativo rilevato, in quanto proprio a queste altezze si rilevano lesioni orizzontali, provocate anch'esse dalla sollecitazione longitudinale. Analizzando le sezioni soniche è possibile individuare delle variazioni di velocità tra un livello e quello immediatamente successivo o precedente; tali disomogeneità possono essere messe in relazione con la presenza di buche puntaie (indagate durante un'ispezione parziale della muratura sul pilastro G) ancora aperte all'interno della struttura. Le velocità maggiori si rilevano invece nell'area contenuta tra il livello B e C.

A conclusione dell'esame delle velocità soniche si può sostenere che il pilastro che presenta velocità soniche più lente è il pilastro D, velocità piuttosto lente che probabilmente denotano uno stato di danno; mentre il pilastro che apparentemente verte nello stato migliore è il pilastro I, il quale presenta le velocità soniche più elevate ed una loro maggiore omogeneità.

⁶³ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila*, Milano, Giugno 2010, pp. 71-74.

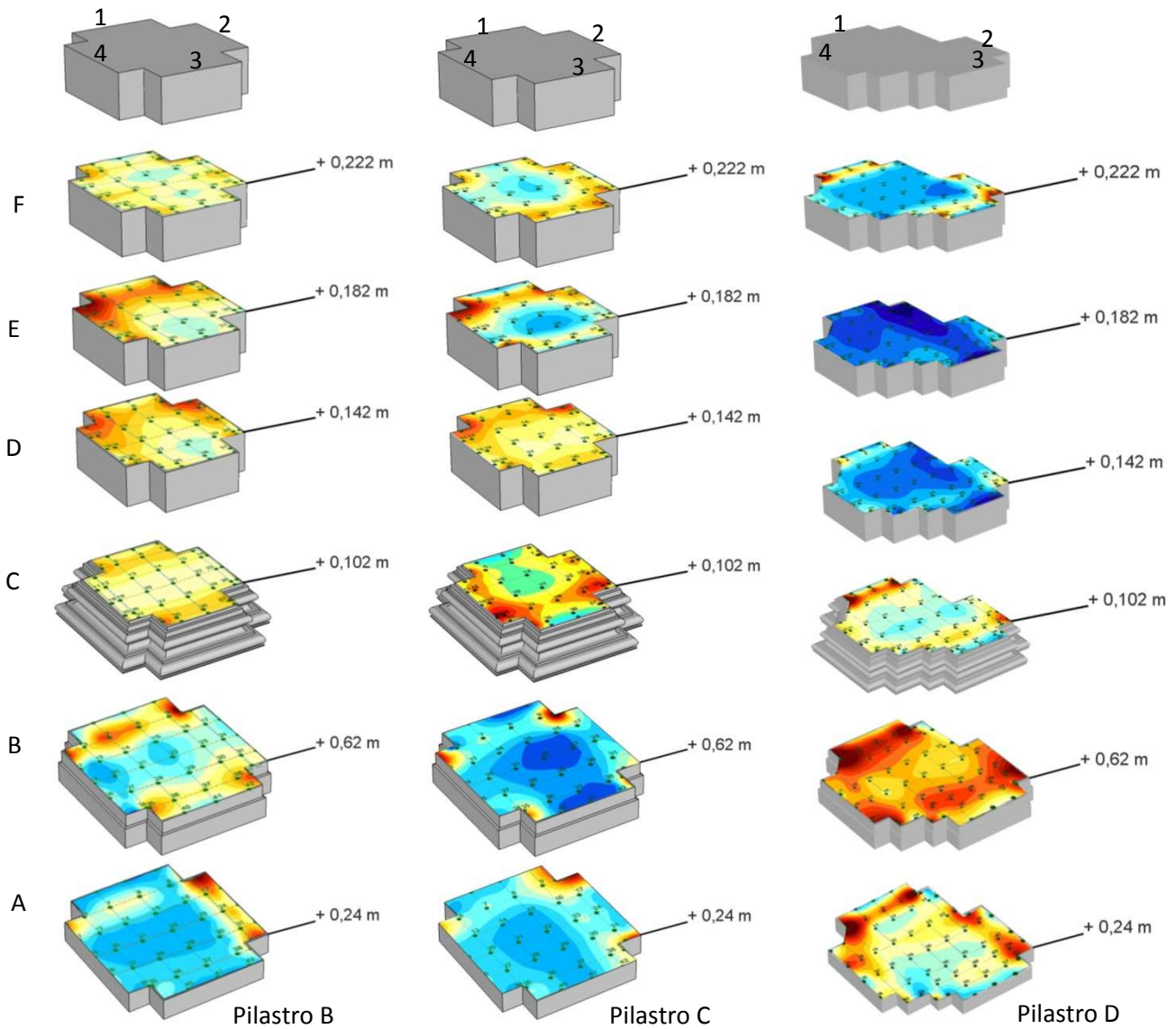


Figura 6.169 – Confronti velocità soniche nelle diverse sezioni dei pilastri B – C - D.

confronti velocità soniche rilevate						
	Direzione 1-3			Direzione 2-4		
	V media [m/s]	V max [m/s]	V min [m/s]	V media [m/s]	V max [m/s]	V min [m/s]
B	1422.9	1549.8 liv. B	1197.4 liv. A	1276.2	1502.8 liv. D	1026.0 liv. B
C	1295.2	1600.0 liv. E	945.2 liv. A	1248.5	1485.2 liv. F	893.8 liv. B
D	1471.8	2082.9 liv. B	802.3 liv. E	980.3	1341.8 liv. B	636.9 liv. E
E	1161.6	1431.0 liv. C	870.7 liv. F	\	\	\
F	1018.7	1247.8 liv. C	798.0 liv. F	\	\	\
G	1488.3	1639.0 liv. C	1255.0 liv. F	1441.5	1749.6 liv. D	1101.7 liv. A
H	1316	1426.4 liv. B	1102.7 liv. D	1617.3	2101.6 liv. D	1119.7 liv. D
I	1711.9	1897.8 liv. B	1381.5 liv. D	1701.3	2024.0 liv. E	1617.6 liv. D

Tabella 6.26 – Confronti velocità soniche rilevate

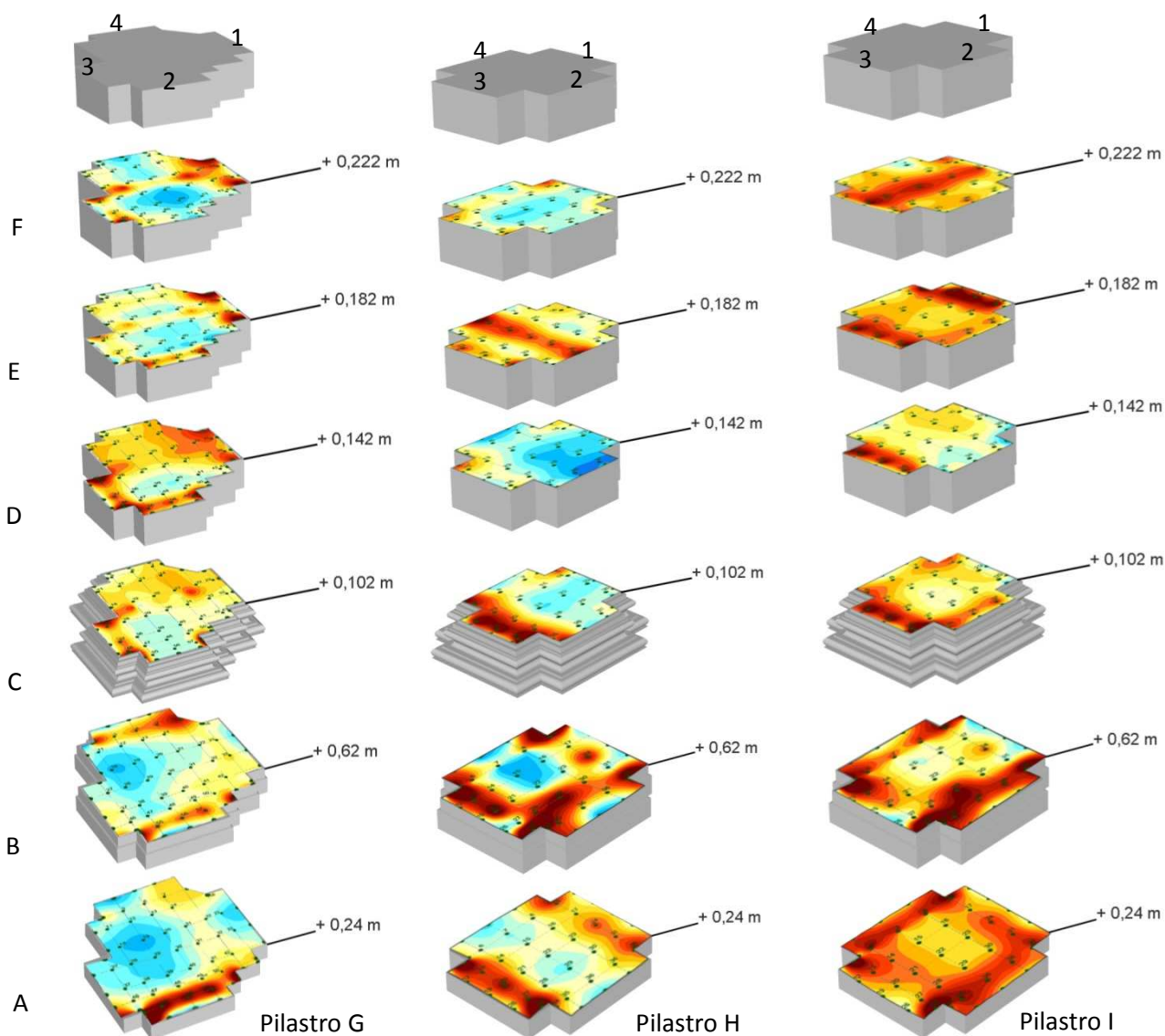


Figura 6.170 – Confronti velocità soniche nelle diverse sezioni dei pilastri G – H - I.

Grazie alle indagini termografiche e radar è stato possibile indagare la tessitura muraria componente i pilastri, confrontata poi con la verifica diretta eseguite mediante saggio stratigrafico e smontaggio parziale dell'apparecchiatura muraria. È quindi emerso che i pilastri sono eseguiti mediante una tecnica che prevede la disposizione di blocchi di pietra squadrati di discrete dimensioni intervallati da diversi corsi di mattoni.

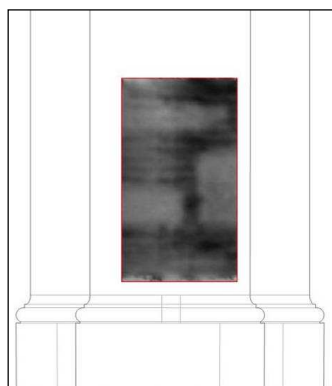


Figura 6.171 – Radargramma 3D relativo al pilastro H.

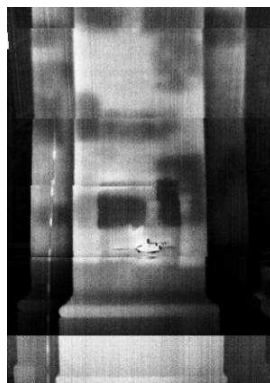


Figura 6.172 – Termogramma del pilastro H



Figura 6.173 – Saggio stratigrafico eseguito sul pilastro H.

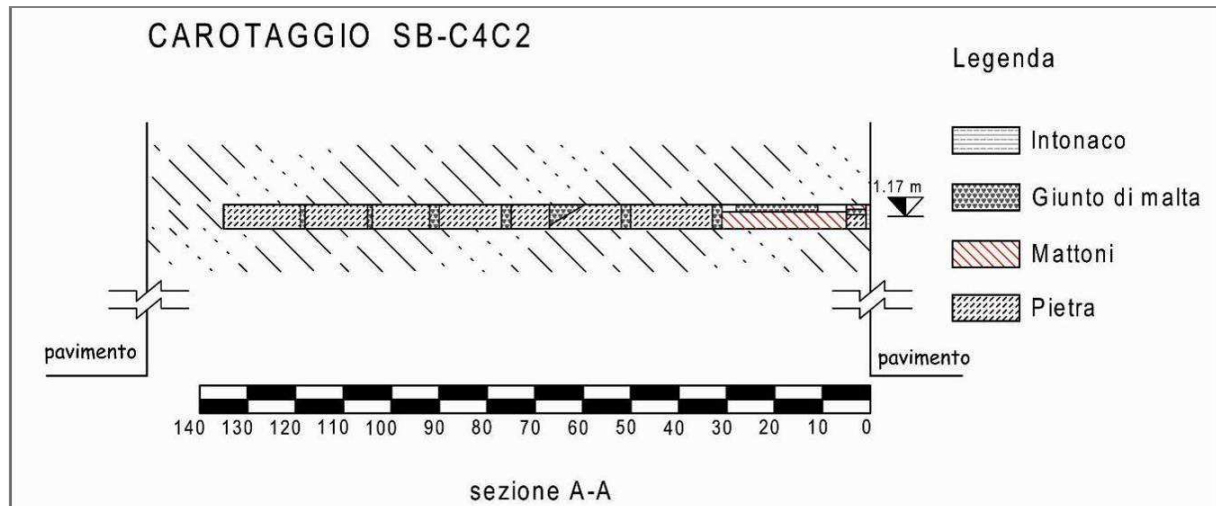


Figura 6.174 – Stratigrafia vista mediante video endoscopia sul pilastro C.

Per ultimo si considerano i risultati delle prove con martinetto piatto singolo, effettuate sui pilastri G e H, che hanno dato come risultato uno stato di sforzo 0.58 N/mm^2 sul primo elemento e 0.71 N/mm^2 sul secondo⁶⁴.

h_Prove di identificazione dinamica

La campagna di indagini sullo stato di danneggiamento post-sismico della chiesa di San Biagio d'Amiterno a L'Aquila ha compreso l'esecuzione di prove di identificazione dinamica progettate ed eseguite dall'Università degli Studi di Padova.

Le prove condotte avevano come obiettivo l'identificazione del comportamento dinamico di massima dell'edificio (frequenze naturali e forme modali) nello stato strutturale danneggiato prevalentemente caratterizzato dal parziale collasso e incipiente ribaltamento della facciata, dallo schiacciamento dei pilastri e dal danneggiamento delle volte. Le indagini sono consistite nella misurazione delle vibrazioni ambientali in numerosi punti di rilievo localizzati per lo più presso la sommità delle strutture murarie. Tali vibrazioni, generalmente non percepibili dall'essere umano, sono legate a differenti fonti di eccitazione quali il vento, microtremiti del sottosuolo, vibrazioni indotte dai cantieri adiacenti, ecc.. Le indagini sono state estese anche agli edifici attigui onde cogliere il comportamento dinamico dell'aggregato.

Sono state utilizzati 5 diversi schemi di disposizione dei sensori per un totale di 25 punti di acquisizione complessivi. Ogni configurazione ha compreso fino a otto sensori, di cui due fissi e di riferimento per tutte le misurazioni effettuate, disposti secondo le due direzioni parallele agli assi longitudinale e trasversale dell'edificio.

Dall'elaborazione complessiva dei dati è stato possibile individuare cinque modi di vibrare, due relativi al comportamento prevalentemente "trasversale" dell'edificio (frequenze di 2,48 e 4,82 Hz) e tre relativi al comportamento "longitudinale" (frequenze di 3,55, 4,42 e 5,36). I primi modi trasversale e longitudinale – molto ben definiti – hanno caratteristiche globali, così come il modo a 4,82 Hz, che sembra richiamare la

⁶⁴ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione interpretativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila"*, Milano, Giugno 2010, pp. 24-32.

forma di un modo torsionale. I modi a 4,42 e 5,36 Hz incorporano caratteristiche maggiormente locali, principalmente legate al comportamento fuori piano della facciata.

Come atteso, le risposte dinamiche della chiesa e degli edifici contermini sono molto diverse: gli edifici attigui sono caratterizzati da forme modali a frequenze maggiori, nettamente distinte dai modi identificati per la chiesa.

Tali informazioni sulla risposta dinamica dell'edificio allo stato danneggiato potranno successivamente essere utilmente confrontate con i dati relativi al comportamento dinamico della struttura nel suo stato "riparato" legato ai previsti interventi di consolidamento strutturale⁶⁵.

i_Caratterizzazione delle murature dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi

Le murature della controfacciata sono state caratterizzate mediante l'impiego complementare di moltissime tecniche diagnostiche, alcune applicate dal Dipartimenti di Ingegneria Strutturale del Politecnico di Milano e altre dall'Università degli Studi di Padova; in particolare sono state impiegate:

- Prove di termografia attiva;
- Prove soniche;
- Prove radar;
- Prova con martinetto piatto singolo;
- Prova con martinetti piatti doppi;
- Carotaggi e video endoscopie.

i.1_Caratterizzazione della muratura della facciata dell'oratorio di S. Giuseppe dei Minimi

PROVA SONICA OSG-S05

La prima indagine eseguita è stata la prova sonica. Su entrambi i lati della parete in esame è stata riportata una maglia geometrica composta da 24 punti, formata da 4 righe e 6 colonne, distanti tra loro 15 cm, facendo attenzione che avessero la medesima quota in modo che la congiungente ipotetica tra i punti fosse perpendicolare alle superfici. La prova è stata eseguita ponendo la stazione emittente sul lato esterno della muratura e la stazione ricevente sul lato interno.



Figura 6.175 – Lato esterno della muratura.



Figura 6.176 – Lato interno della muratura.

⁶⁵ Cfr. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione interpretativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di san Biagio a L'Aquila"*, Milano, Giugno 2010, pag. 35.

I risultati sono presentati nella scheda riepilogativa 23 per mezzo di istogrammi e grafici di superficie. Tale scheda è riportata nell'allegato 17. La distribuzione delle velocità risulta essere disomogenea con valori piuttosto bassi e, in alcuni casi, prossimi alla propagazione delle onde elastiche nell'aria.

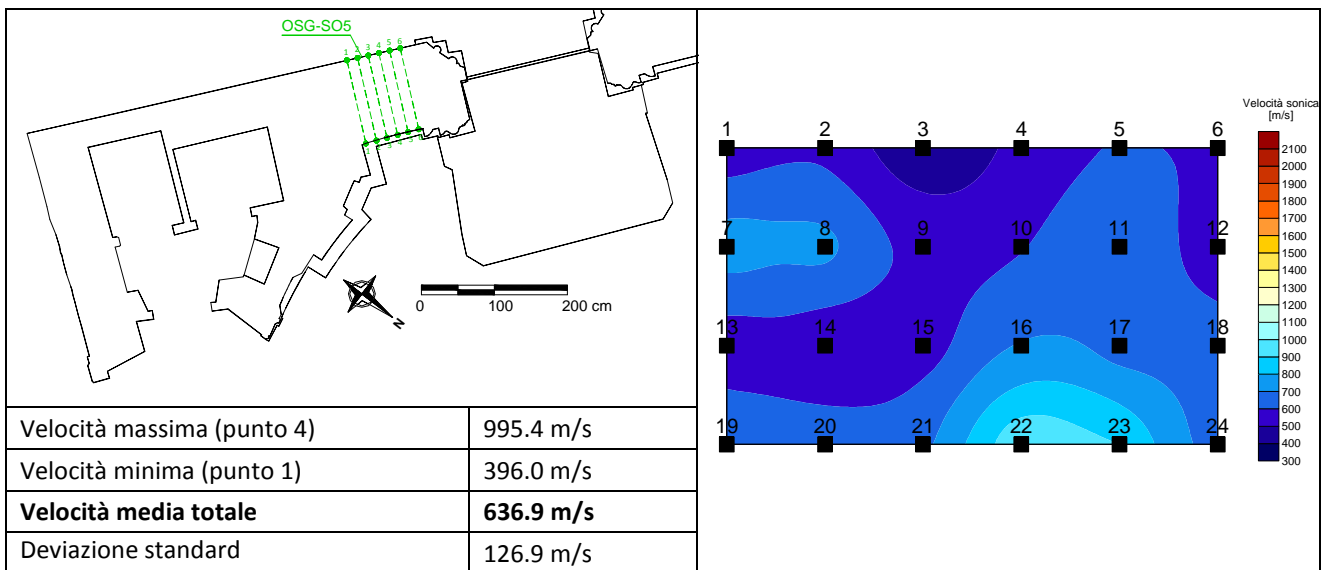


Tabella 6.27 – Sintesi dei risultati della prova sonica condotta sulle muratura della facciata.

PROVA SONICA OSG-S02

Anche per questa prova, prima di cominciare la battitura dei punti, si è proceduto con la realizzazione della solita maglia geometrica di punti con le caratteristiche sopradescritte. Come prima si è posizionata la stazione emittente sul lato esterno della muratura e la stazione ricevente su quello interno. Dall'analisi dei risultati la distribuzione delle velocità risulta essere disomogenea, ma non si riscontrano valori prossimi alla propagazione delle onde elastiche nell'aria.

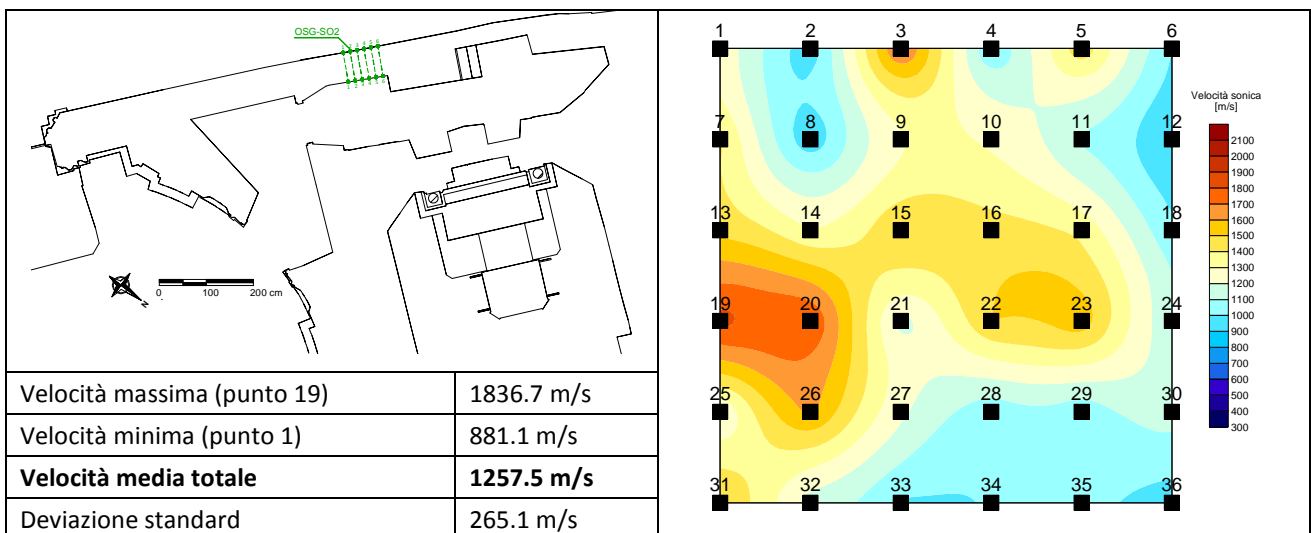


Tabella 6.28 – Sintesi dei risultati della prova sonica condotta sulle muratura della facciata.

I risultati estesi della prova sono riportanti nell'allegato 18.

PROVE RADAR OSG-OR1V

Ad integrazione delle precedenti indagini, nell'area di facciata dell'oratorio di S. Giuseppe sono state effettuate delle acquisizioni radar, subito a sinistra (guardando dall'interno) del portone di ingresso. A causa della geometria dell'area da indagare, le scansioni condotte sono costituite solamente da profili verticali. Le antenne utilizzate presentano range in frequenza pari a 200MHz - frequenza medio bassa; 600MHz; 2GHz - alta frequenza.

In generale si è riscontrata una certa difficoltà del segnale a penetrare nelle murature dell'oratorio, posto che la presenza di umidità ha creato zone d'ombra nel segnale in quasi tutti i profili, principalmente nella parte bassa, più vicina alla pavimentazione.

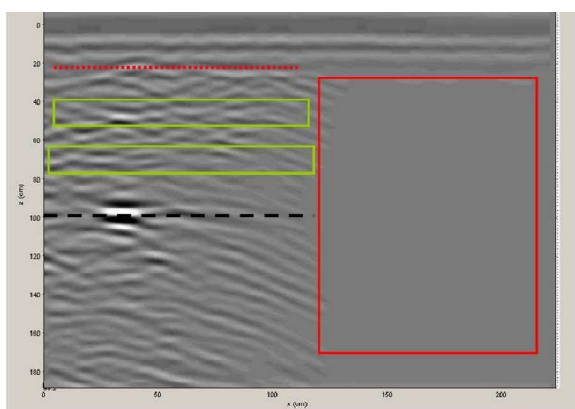


Figura 6.177 – Sesto profilo.

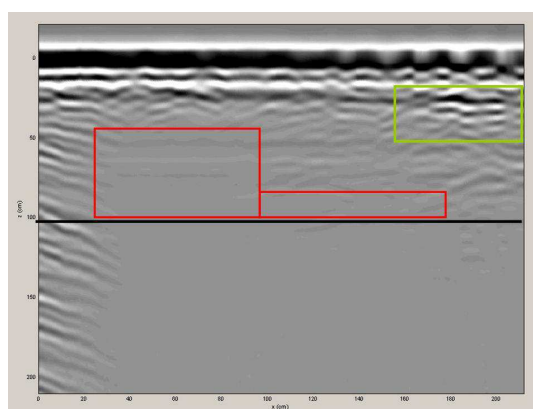


Figura 6.178 – Profilo più esterno.

Nella figura 6.177, primo profilo effettuato che penetra tutta la muratura, si riesce ad individuare lo spessore dei mattoni utilizzati nel primo paramento interno della muratura. Nel profilo più esterno, invece, si riescono a identificare le pietre che costituiscono la facciata. Nelle acquisizioni eseguite si nota anche il forte problema dell'umidità contenuta all'interno delle murature che assorbe completamente il segnale (rettangoli rossi). In particolare, dai profili effettuati sul lato esterne della facciata, sembra che l'umidità interessi principalmente la parte alta, contrariamente a quanto indicato dalle acquisizioni interne che mostrano l'umidità localizzata prevalentemente nelle parti basse. Nei rettangoli gialli, vengono identificate delle aree critiche, dove sono presenti delle riverberazioni localizzate probabilmente dovute al distacco della facciata⁶⁶.

CAROTAGGIO OSG-C2 E VIDEO-ENDOSCOPIA OSG-E6

Successivamente alle indagini precedentemente descritte, la muratura di facciata è stata oggetto di un'analisi stratigrafica mediante l'esecuzione di un carotaggio, ad una quota di 170 cm rispetto il piano di calpestio, e di una video endoscopia all'interno della cavità creata. Il foro eseguito è capitato proprio in prossimità di un giunto di malta orizzontale, parallelo alla traiettoria di perforazione del carotatore.

Dall'osservazione del foro ottenuto dal carotaggio OSG-C2 condotto nella parte ad est della controfacciata, si nota una tessitura composta da alcuni laterizi fino ad una profondità di circa 35cm, da laterizi misti a pietra per un tratto di circa 20cm e da conci di pietra per il resto della sezione⁶⁷.

⁶⁶ Cfr. Casarin Filippo, *Relazione interpretativa all'esecuzione di indagini sperimentali propedeutiche agli interventi di restauro dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi L'Aquila, Padova*, Luglio 2010, pp. 52-59.

⁶⁷ Cfr. Casarin Filippo, *Relazione interpretativa all'esecuzione di indagini sperimentali propedeutiche agli interventi di restauro dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi L'Aquila, Padova*, Luglio 2010, pp. 52-59.

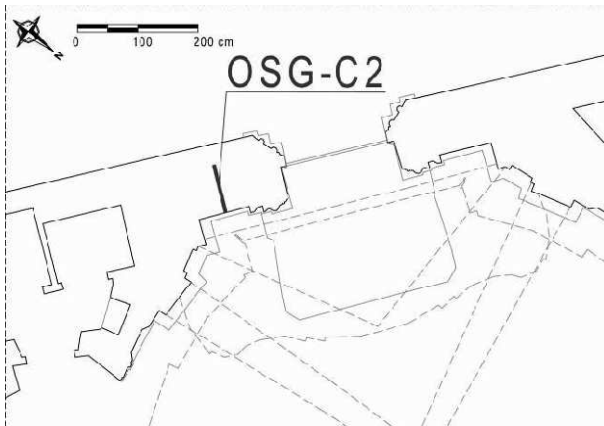


Figura 6.179 – Localizzazione carotaggio OSG-C2.



Figura 6.180 – Vista interna OSG-E6.

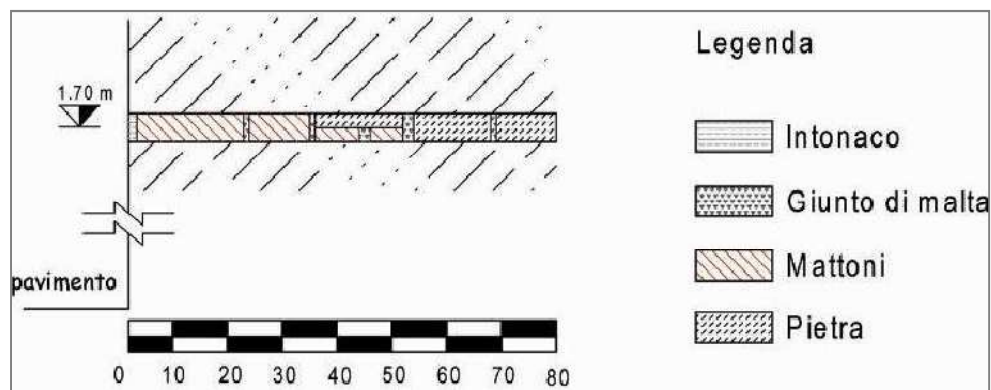


Figura 6.181 – Schematizzazione della stratigrafia ottenuta dalla video endoscopia OSG-E6.

VIDEO-ENDOSCOPIA OSG-E7



Figura 6.182 – Esecuzione della video endoscopia.

Una seconda video endoscopia è stata eseguita nella stessa area battuta durante la prova OSG-SO5. Il foro è stato eseguito ad una quota pari a 170 cm dal piano di calpestio dell'oratorio e, fortunatamente come nel caso prima descritto, è capitato proprio in prossimità di un giunto di malta orizzontale, parallelo alla traiettoria di perforazione del carotatore. Si sono potute così osservare due stratigrafie leggermente differenti⁶⁸.

⁶⁸ Cfr. Casarin Filippo, *Relazione interpretativa all'esecuzione di indagini sperimentali propedeutiche agli interventi di restauro dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi L'Aquila, Padova*, Luglio 2010, pp. 25-26.

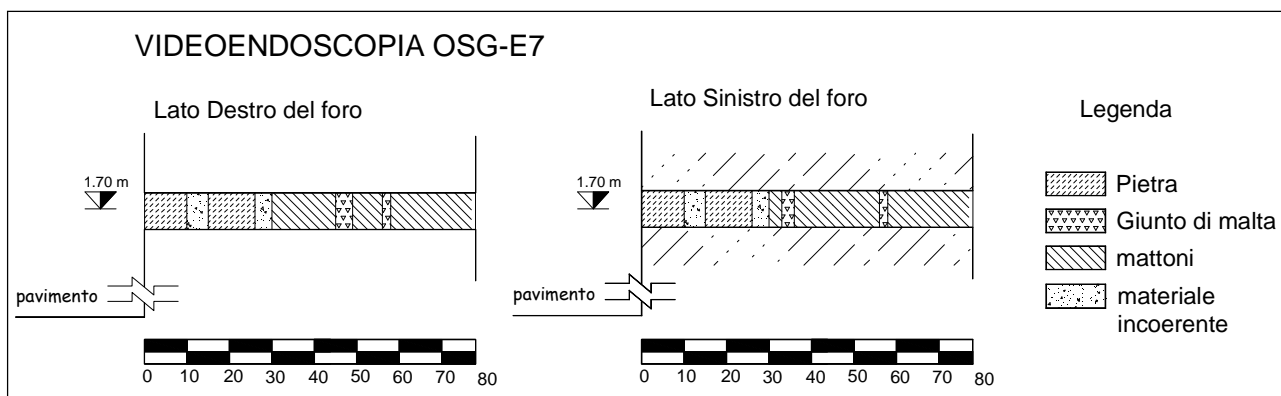


Figura 6.183 – Schemi rappresentativi della stratigrafia rilevata.

PROVA CON MARTINETTO SINGOLO MS1

Le prove con i martinetti piatti, singoli e doppi, sono stati eseguiti dal gruppo di studio dell'Università degli Studi di Padova, per cui noi ci limitiamo a riportare esclusivamente i risultati utili ai fini del nostro studio.

La prova di martinetto piatto singolo MS1 si è svolta al livello del suolo ad una quota di 110 cm circa dal piano di calpestio, sul lato esterno della facciata principale rivolta a Sud. La muratura della facciata è per la maggior parte in pietrame disordinato, tuttavia in prossimità della posizione di prova – in corrispondenza dell'angolata – si presenta in muratura in blocchi di pietra regolari e di rilevanti dimensioni. Lo spessore murario, in prossimità del punto di esecuzione della prova, è pari a 0,37 m. Il taglio, di larghezza pari a 35 cm - è stato eseguito ad una distanza di 30 cm dallo spigolo murario, ed è stato eseguito in corrispondenza del corso di malta tra gli elementi in pietra.



Figura 6.184 – Localizzazione prove con martinetti.

La muratura scelta per effettuare la prova è considerata quella con la migliore apparecchiatura muraria rispetto alla massa della facciata, e proprio a causa di questo vi è una concentrazione delle tensioni dovute al forte fuori piombo della facciata. Si sono misurati quindi valori di sforzo locale particolarmente elevati: il valore medio della basi di misura è pari a 4.51 N/mm^2 . Anche le deformazioni iniziali hanno fatto misurare dei valori notevoli, essendosi mediamente misurati, dopo il taglio, valori di distanza relativa oltre il mezzo millimetro⁶⁹.

PROVA CON MARTINETTO SINGOLO MS2

Una seconda prova con martinetto piatto singolo è stata condotta sul lato esterno sinistro della facciata collocando lo strumento ad una altezza di 105 cm dal piano di calpestio. In questo punto il paramento murario, avente uno spessore di 0.73 m, si presenta in pietrame disordinato, recentemente ristilato con una malta di buone caratteristiche.

⁶⁹ Cfr. Casarin Filippo, *Relazione interpretativa all'esecuzione di indagini sperimentali propedeutiche agli interventi di restauro dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi L'Aquila, Padova*, Luglio 2010, pp. 29-31.

In questo caso non si intercettano concentrazioni particolari di tensione, tuttavia il valore relativamente elevato di tensione che emerge, pari quasi a $0,8 \text{ N/mm}^2$, è anche in questo caso presumibile effetto del fuori piombo rimasto impresso alla facciata⁷⁰.

COMMENTI AI RISULTATI



Figura 6.185 – Schema esemplificativo delle deduzioni tratte dalle analisi diagnostiche.

Dall'analisi dei risultati delle prove diagnostiche eseguite sulla facciata è stato possibile, grazie alle **prove radar** e confermate successivamente dalle **video endoscopie** che hanno permesso di definire anche uno spessore, individuare la tessitura a più paramenti composti da 35 cm di laterizi, 20 cm di laterizi e pietra e la sezione rimanente, di circa altri 20 cm, composta da conci di pietra. Le indagini radar, hanno fornito indicazioni sulla forte presenza di umidità interna alla muratura, collocata

prevalentemente nella parte bassa, in prossimità della pavimentazione, sul lato interno dell'elemento e nella parte alta del paramento sul suo lato esterno. Tale presenza ha reso difficoltosa la penetrazione del segnale creando zone d'ombra. I risultati delle **indagini soniche** mostrano una distribuzione molto disomogenea delle velocità e individuano nella porzione destra dell'elemento delle velocità prossime alla propagazione dell'onda sonora nell'aria, indicando la presenza di lesioni o cavità, mentre nella parte sinistra questo fenomeno non è stato riscontrato.

Informazioni sullo stato di sforzo cui è soggetta la facciata, determinati mediante prova con **martinetto piatto singolo**, mostrano una concentrazione degli sforzi in corrispondenza dell'angolo destro - realizzato in blocchi di pietra squadrata di dimensioni rilevanti - determinate dal fuori piombo dell'elemento; il valore medio di sforzo calcolato è pari a 4.51 N/mm^2 . Anche le deformazioni iniziali del taglio effettuato per l'inserimento dello strumento hanno segnalato valori di distanza relativa superiori al mezzo millimetro. La seconda prova di questo tipo, eseguita sul lato sinistro della facciata, in presenza di un paramento murario composto da pietrame disordinato recentemente ristilato, non mostra una particolare concentrazione di tensioni, tuttavia il valore di sforzo rilevato è comunque piuttosto elevato, pari a quasi 0.8. anche in questo caso, l'elevato valore è riconducibile alle condizioni meccaniche caudate dal ribaltamento del fronte.

⁷⁰ Cfr. Casarin Filippo, *Relazione interpretativa all'esecuzione di indagini sperimentali propedeutiche agli interventi di restauro dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi L'Aquila, Padova*, Luglio 2010, pp. 29-31.

i.2_Caratterizzazione delle murature perimetrali dell'oratorio di s. Giuseppe

PROVE TERMOGRAFICHE OSG-T1, OSG-T2, OSG-T3, OSG-T4, OSG-T5

Per poter caratterizzare al meglio la tessitura muraria perimetrale sono state condotte delle prove termografiche in diverse aree della chiesa. Le prime, condotte in corrispondenza di alcune murature dell'abside centrale e dell'abside laterale ovest, hanno individuato tessiture murarie differenti: le murature risultano composte da conci di pietra di dimensioni irregolari, ma correttamente disposti lungo piani di posa regolari. Le paraste sono invece formate da blocchi squadrati di pietra intervallati da uno o due corsi di laterizi.

La prova OSG-T1, condotta sulla muratura prossima al carotaggio passante tra Oratorio e chiesa di S. Biagio ha messo in evidenza la presenza d una tessitura in mattoni nella parte centrale della losanga. Più difficoltoso è risultato ottenere indicazioni sulle altre aree della struttura. Grazie al carotaggio, presentato successivamente, è stato osservato che la muratura presenta ampie zone rivestite con tegole. L'ampio strato d'intonaco e la presenza delle tegole al di sotto di questo hanno reso estremamente difficile lo svolgimento delle prove termografiche nell'oratorio.

Dalle prove condotte è stato messo in evidenza che l'alto dado del basamento delle colonne degli altari sembra essere costituito da 4 elementi lapidei⁷¹.

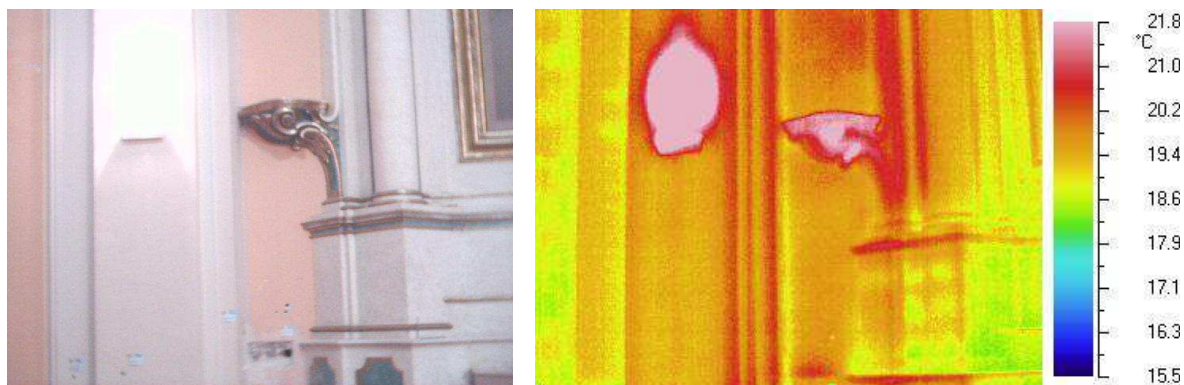


Figura 6.186 – Termografia attiva condotta sulle murature perimetrali OSG-T1.

La prova OSG-T2 è stata condotta ad una distanza più ampia dalla muratura. La prova è stata condotta sul pilastro nord-ovest della zona absidale dell'oratorio. La termografia attiva ha messo parzialmente in evidenza (soprattutto nella parte alta della struttura) porzioni di tessitura muraria in conci di pietra irregolari. Dalla prova OSG-T2 si mette in evidenza anche il distacco del rivestimento più esterno dell'intonaco: le aree di distacco sono caratterizzate da temperature più elevate⁷².

⁷¹ Cfr. Casarin Filippo, *Relazione interpretativa all'esecuzione di indagini sperimentali propedeutiche agli interventi di restauro dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi L'Aquila, Padova*, Luglio 2010, pp. 37.

⁷² Cfr. Casarin Filippo, *Relazione interpretativa all'esecuzione di indagini sperimentali propedeutiche agli interventi di restauro dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi L'Aquila, Padova*, Luglio 2010, pp. 36-37.



Figura 6.187 – Termografia attiva condotta sulle murature perimetrali OSG-T2.

La prova OSG-T3 è stata condotta su una parasta in buono stato di conservazione. Ancora una volta lo spesso strato d'intonaco non ha permesso la lettura della tessitura muraria, ma è stato messo in evidenza un elemento verticale dalla geometria regolare al centro della superficie indagata⁷³.

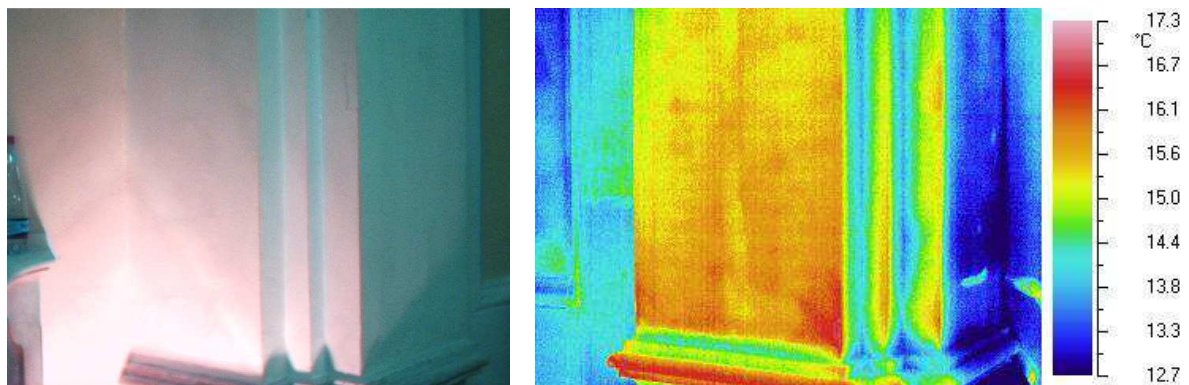


Figura 6.188 – Termografia attiva condotta sulle murature perimetrali OSG-T3.

La prova OSG-T4 è stata condotta sulla superficie interna del catino absidale dell'oratorio. L'area indagata, essendo molto umida, non presentava le condizioni migliori per una prova termografica, anche se fatta in modalità attiva. I risultati ottenuti non sono di facile interpretazione: dalla distribuzione non uniforme delle temperature intuisce una tessitura muraria non in mattoni⁷⁴.

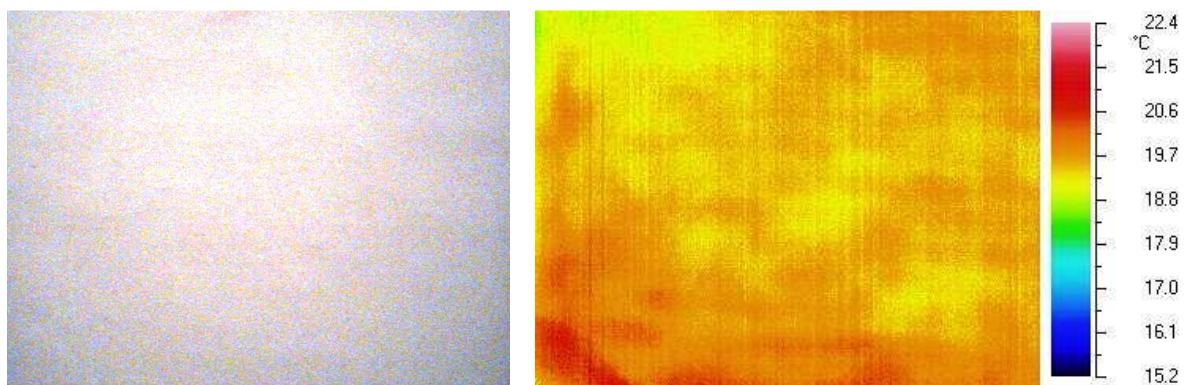


Figura 6.189 – Termografia attiva condotta sulle murature perimetrali OSG-T4.

⁷³ Cfr. Casarin Filippo, *Relazione interpretativa all'esecuzione di indagini sperimentali propedeutiche agli interventi di restauro dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi L'Aquila, Padova*, Luglio 2010, pp. 38.

⁷⁴ Cfr. Casarin Filippo, *Relazione interpretativa all'esecuzione di indagini sperimentali propedeutiche agli interventi di restauro dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi L'Aquila, Padova*, Luglio 2010, pp. 39.

Infine, la prova OSG-T5 ha permesso di visualizzare la tessitura regolare che costituisce il tamponamento dell'antica apertura che collegava l'oratorio con la chiesa di S. Biagio⁷⁵.

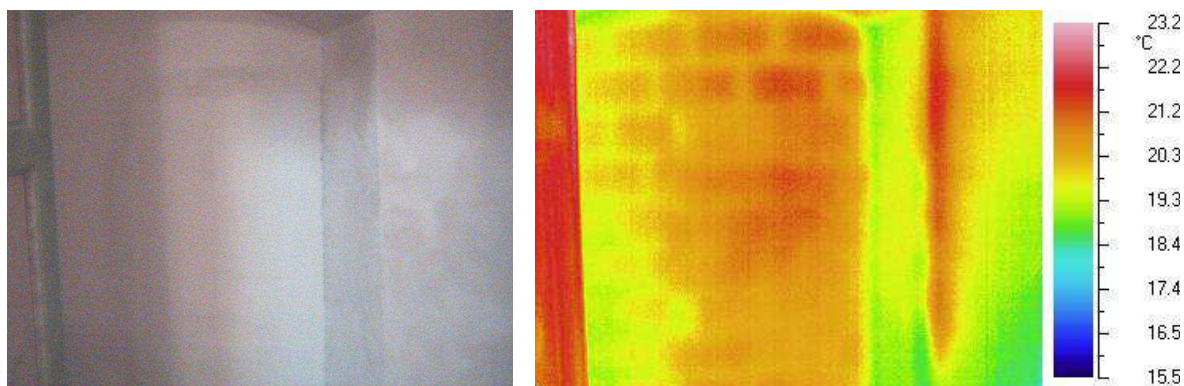


Figura 6.190 – Termografia attiva condotta sulle murature perimetrali OSG-T5.

PROVA SONICA OSG-SO1

In successione alle indagini termografiche si sono eseguite quelle soniche, che nel caso specifico sono state eseguite su u'area che internamente si articola con spessori differenti, data la presenza di pilastri addossati alla muratura. Come per le altre prove di questa natura, si è riprodotta la classica griglia geometrica di 36 punti distanti 15 cm l'uno dall'altro, posizionandoli alla medesima quota mediante l'ausilio di una canna ad acqua, per cercare quanto più possibile di ottenere le congiungenti perpendicolari alla superficie muraria e ponendo la stazione emittente sul lato esterno della muratura e quella ricevente all'interno.



Figura 6.191 – Emissione dell'impulso



Figura 6.192 – Ricezione dell'impulso

I risultati, contenuti nell'allegato 19, sono presentati nella scheda riepilogativa 3 per mezzo di istogrammi e grafici di superficie. La prova, condotta sulla muratura perimetrale est dell'oratorio in prossimità dell'ingresso secondario, ha mostrato una distribuzione disomogenea delle velocità all'interno delle quali si riscontrano valori prossimi alla propagazione delle onde elastiche nell'aria⁷⁶.

⁷⁵ Cfr. Casarin Filippo, *Relazione interpretativa all'esecuzione di indagini sperimentali propedeutiche agli interventi di restauro dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi L'Aquila, Padova*, Luglio 2010, pp. 40.

⁷⁶ Cfr. Casarin Filippo, *Relazione interpretativa all'esecuzione di indagini sperimentali propedeutiche agli interventi di restauro dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi L'Aquila, Padova*, Luglio 2010, pp. 40-43.

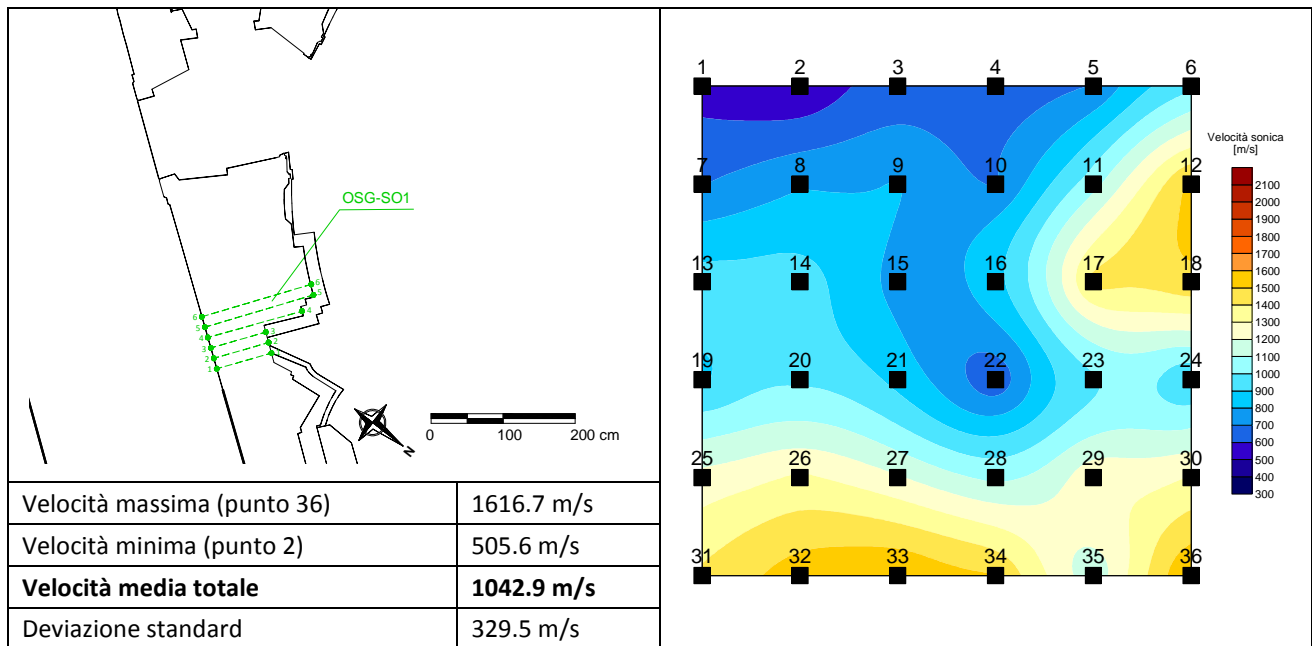


Tabella 6.29 – Sintesi dei risultati della prova sonica condotta sulla muratura perimetrale

PROVA SONICA OSG-SO4



Figura 6.193 – Emissione dell'impulso.



Figura 6.194 – Ricezione dell'impulso.

Anche per l'esecuzione di questa prova, eseguita sulla muratura perimetrale est dell'oratorio, in prossimità dell'abside, in un ambiente secondario, si è riportata su entrambi i lati della muratura la tradizionale griglia geometrica di 36 punti sopradescritta con l'ausilio di una canna ad acqua per riportare i punti alle stesse altezze, in quanto i due livelli su cui si operava presentavano quote differenti, e collocando la stazione emittente sul lato esterno della muratura e quella ricevente sul lato interno.

Nell'allegato 20, organizzati in tabella, vengono riportati i valori delle velocità soniche calcolati per ciascun punto di prova. I risultati sono presentati nella scheda riepilogativa 25 per mezzo di istogrammi e grafici di superficie. La distribuzione delle velocità risulta essere disomogenea, ed in alcuni punti si riscontrano valori prossimi alla propagazione delle onde elastiche nell'aria⁷⁷.

⁷⁷ Cfr. Casarin Filippo, *Relazione interpretativa all'esecuzione di indagini sperimentali propedeutiche agli interventi di restauro dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi L'Aquila, Padova, Luglio 2010*, pp. 43-46.

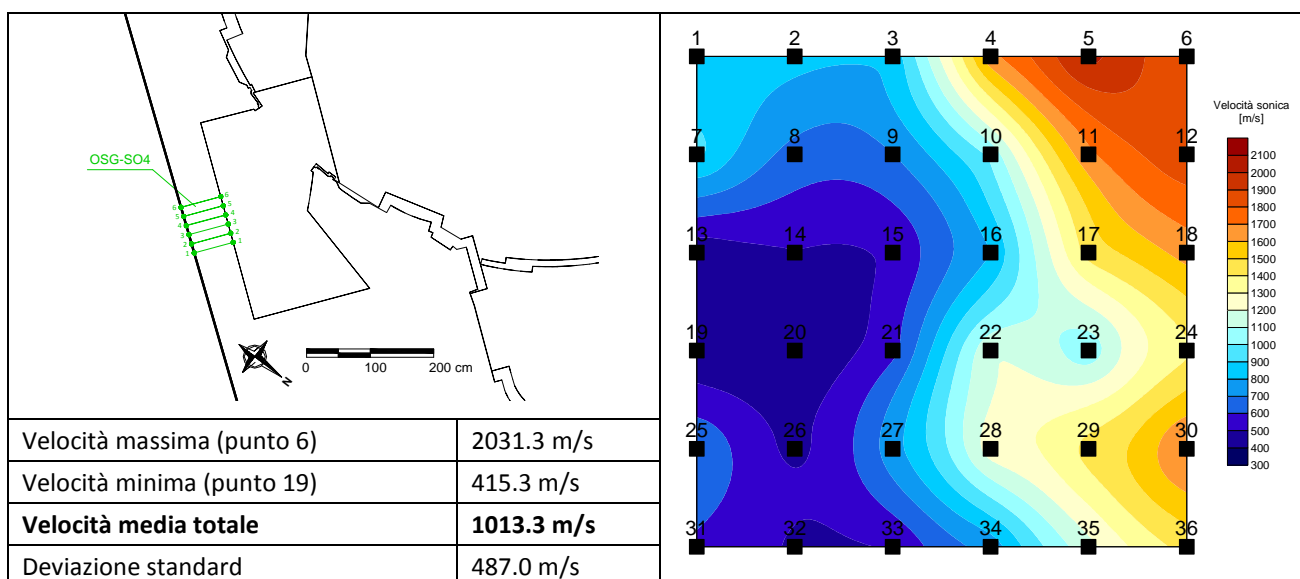


Tabella 6.30 – Sintesi dei risultati della prova sonica condotta sulla muratura perimetrale.

PROVA SONICA OSG-S03

La prova sonica OSG-S03 è stata eseguita per caratterizzare la muratura di un pilastro complesso che delimita la zona absidale dell'oratorio. A causa della geometria di questo elemento le traiettorie di prova hanno preso in esame differenti spessori della sezione muraria. Anche in questo caso si è dovuto riportare sulle murature la griglia con i punti da battere, ma in questo caso, il reticolo geometrico risultava composto da 4 righe e 7 colonne, sempre distanti tra loro di 15 cm. A causa delle diverse quote dei due fronti dello stesso elemento ci si è aiutati con una canna ad acqua per segnare i punti alla medesima altezza.

Come per le altre prove si riportano in allegato, n. 21, i valori delle velocità soniche calcolati per ciascun punto di prova, mentre nella scheda riepilogativa 26, vengono riportati i risultati ottenuti per mezzo di istogrammi e grafici di superficie. La distribuzione delle velocità risulta essere disomogenea, ed in alcuni punti si riscontrano valori prossimi alla propagazione delle onde elastiche nell'aria⁷⁸.

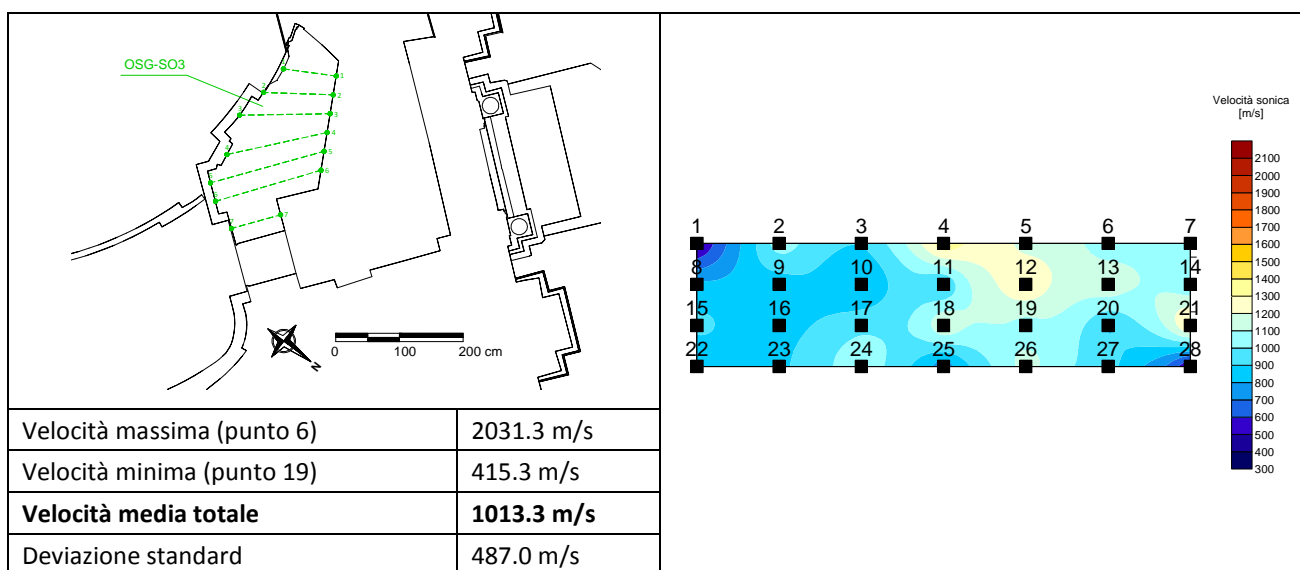


Tabella 6.31 – Sintesi dei risultati della prova sonica condotta sul pilastro ad ovest dell'abside.

⁷⁸ Cfr. Casarin Filippo, *Relazione interpretativa all'esecuzione di indagini sperimentali propedeutiche agli interventi di restauro dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi L'Aquila, Padova*, Luglio 2010, pp. 46-48.

PROVE RADAR OSG-OR2V, OSG-OR4V E ABSIDE

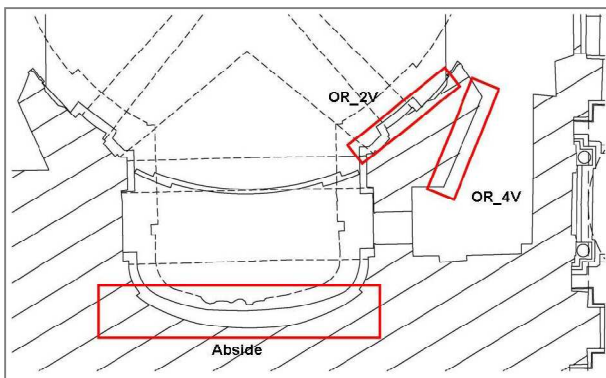


Figura 6.195 – Localizzazione delle indagini radar.

Al fine di caratterizzare al meglio le murature sulle quali si erano già eseguite le prove termografiche e soniche si sono effettuate le indagini radar, localizzate con precisione nel pilastro a sinistra dell'abside, precedentemente caratterizzato con la prova OSG-SO3 e nel catino absidale.

Le antenne utilizzate presentano range in frequenza pari a 200MHz - frequenza medio bassa; 600MHz; 2GHz - alta frequenza.

In generale si è riscontrata una certa difficoltà del segnale a penetrare nelle murature dell'oratorio, posto che la presenza di umidità ha creato zone d'ombra nel segnale in quasi tutti i profili, principalmente nella parte bassa, più vicina alla pavimentazione.

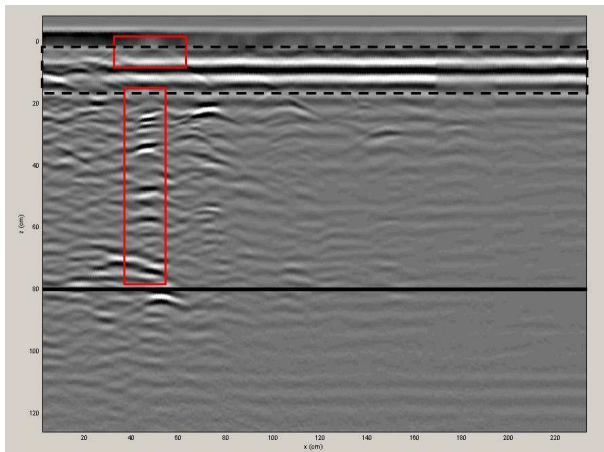


Figura 6.196 – Primo profilo verticale del gruppo OR_2V, realizzato con antenna da 2GHz.

Il pilastro indagato, mostra subito varie iperboli generati proprio dagli elementi costitutivi del pilastro stesso. Generalmente su questa serie di acquisizioni i primi 20 cm sono di difficile interpretazione a causa di un particolare accoppiamento dell'onda elettromagnetica. I successivi 100-120 cm presentano iperboli piuttosto superficiali probabilmente dovute al passaggio da un elemento costituente il pilastro all'altro. Si mette in risalto, a 40 cm di profondità e segnato con un rettangolo rosso, una iperbole molto evidente che denuncia segnali molto energetici a diverse profondità. Si presuppone essere una canalina per l'alimentazione delle lampade, collocate proprio a quell'altezza. Si segnalano anche in questo gruppo di acquisizioni problemi dovuti all'umidità che impediscono una chiara visualizzazione dei segnali⁷⁹.

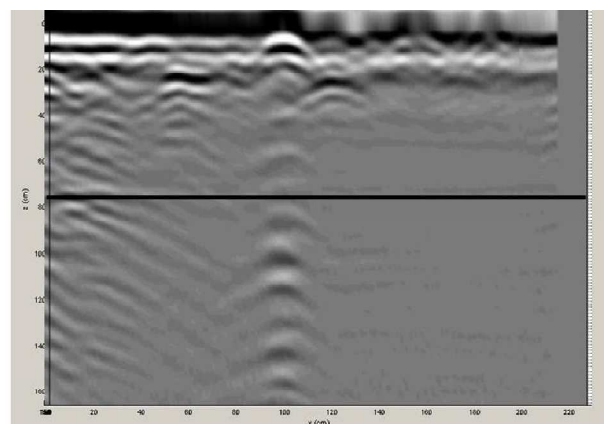


Figura 6.197 – Primo profilo verticale del gruppo OR_4V, realizzato con antenna da 2GHz.

Con questo gruppo di acquisizioni, OR_4V, effettuati sul retro del pilastro, all'interno di un locale d'angolo, si sono riusciti ad ottenere dei segnali ben definiti a profondità diverse. Questo è indice che la struttura interna del pilastro è irregolare con elementi ben evidenti che si dispongono nei primi 20-50 cm, ovviamente ci si riferisce solo a questo lato dell'elemento. A circa 105 cm dall'inizio dei profili si nota un'iperbole superficiale con segnale fortemente riverberato. Si è certi di avere individuato a quell'altezza una canalina per la distribuzione della corrente elettrica. Si segnala però la mancata

⁷⁹ Cfr. Casarin Filippo, *Relazione interpretativa all'esecuzione di indagini sperimentali propedeutiche agli interventi di restauro dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi L'Aquila, Padova*, Luglio 2010, pp. 53-55.

penetrazione del segnale a profondità superiori ai 50-60cm a causa di una forte umidità interna al pilastro. Da una prima analisi il pilastro sembrerebbe non presentare criticità strutturali ricavabili dal dato radar, che si ricorda essere fortemente disturbato⁸⁰.

Per quanto riguarda i primi profili eseguiti sull'abside non sono interpretabili, mentre quelli successivi, più interpretabili, danno comunque poche informazioni in quanto dai 60 cm in poi il segnale è totalmente assorbito non fornendo alcuna informazione. Nel rettangolo rosso si evidenzia questa situazione. Ad una profondità di 15-20 cm, si evidenzia con un rettangolo giallo, una riflessione orizzontale riscontrata in tutti i profili. A 40 cm invece si riscontra un'altra riflessione con forma diversa rispetto quella evidenziata in giallo. Probabilmente si tratta di un secondo paramento ma è difficile da stabilire. Infine tra i 60-80 cm si riscontra un'ultima riflessione molto energetica ma molto difficile da interpretare: si presenta come una tipica riflessione da fondo muro, ipotesi però non confermabile, né dai rilievi, in quanto di quest'area non ne disponevamo, né da altre acquisizioni in quanto tale fenomeno si presenta a profondità differenti⁸¹.

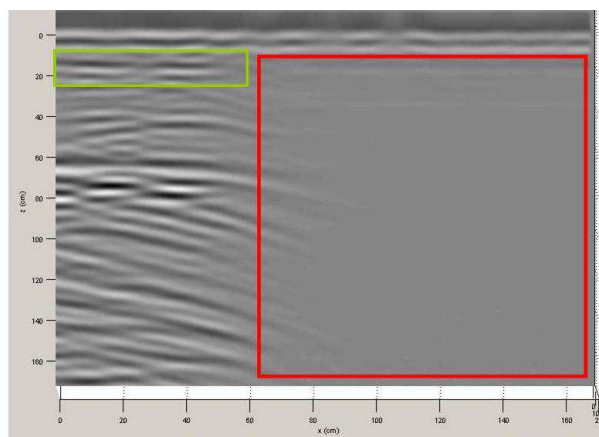


Figura 6.198 – Profilo verticale relativo all'abside, realizzato con antenna da 600MHz.

In quest'ultimo gruppo di profili, orizzontali lungo la conca absidale, il dato radar è stato corretto modificandolo sulla topografia dell'abside. Grazie a questa modifica è stato possibile dare una giusta interpretazione al dato su una superficie curva. Per metà profilo il segnale risulta essere assorbito quasi completamente, esattamente come si verificava per i precedenti profili verticali. Nonostante le difficoltà interpretative, nella parte finale e a 30cm di profondità e nella parte centrale dell'abside è visibile un target piano esteso. Infine, come nel gruppo di acquisizioni precedenti, si notano delle riflessioni difficili da interpretare. Nel rettangolo verde, si evidenzia il presunto muro sul quale è stato poi ricavato l'abside⁸².

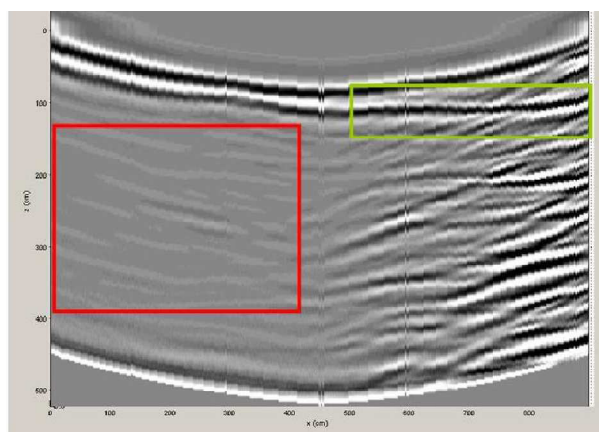


Figura 9.199 – Profilo orizzontale del gruppo OR_4V, realizzato con antenna da 200 MHz.

CAROTAGGIO OSG-C1 E VIDEO-ENDOSCOPIE OSG-E6

Al fine di verificare le intuizioni ottenute grazie alle prove qualitative precedentemente eseguite, si è scelto di condurre una video endoscopia; si è quindi realizzato un foro passante mediante carotaggio nella muratura tra chiesa di San Biagio ed oratorio di San Giuseppe. Come illustrato nella restituzione

⁸⁰ Cfr. Casarin Filippo, *Relazione interpretativa all'esecuzione di indagini sperimentali propedeutiche agli interventi di restauro dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi L'Aquila, Padova*, Luglio 2010, pp. 55-56.

⁸¹ Cfr. Casarin Filippo, *Relazione interpretativa all'esecuzione di indagini sperimentali propedeutiche agli interventi di restauro dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi L'Aquila, Padova*, Luglio 2010, pp. 57-58.

⁸² Cfr. Casarin Filippo, *Relazione interpretativa all'esecuzione di indagini sperimentali propedeutiche agli interventi di restauro dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi L'Aquila, Padova*, Luglio 2010, pp. 58-60.

stratigrafica della sezione indagata, la videoendoscopia mostra una struttura compatta, costituita da conci di pietra di circa 30 o 40 cm per quanto riguarda i paramenti più esterni, e con dimensioni più ridotte e variabili nella parte interna⁸³.

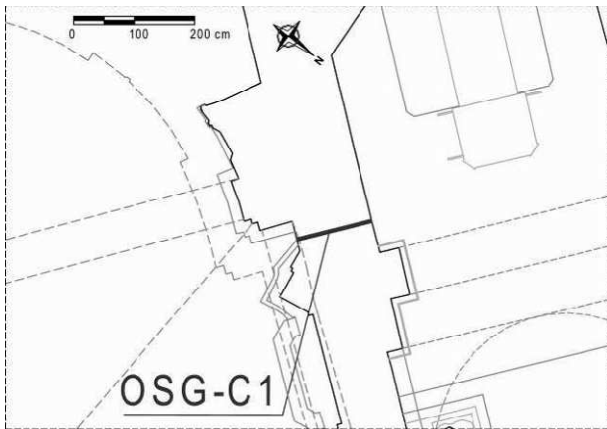


Figura 6.200 – Localizzazione carotaggio OSG-C1.



Figura 6.201 – Localizzazione carotaggio OSG-C1.

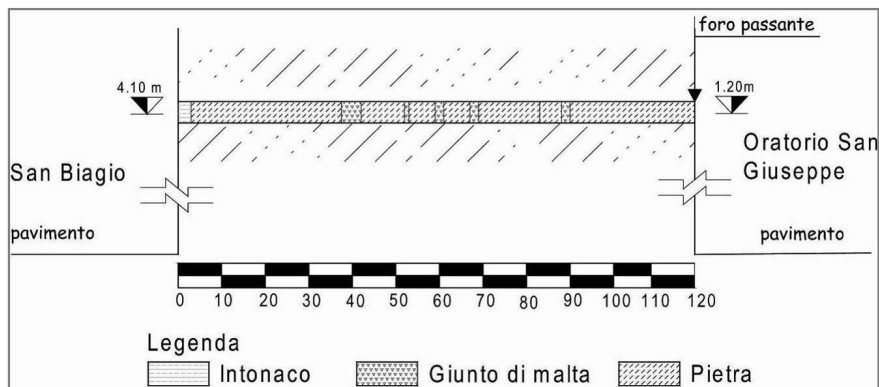


Figura 6.202 – Schemi rappresentativi della stratigrafia rilevata.

ENDOSCOPIE OSG-E1, OSG -E2, OSG -E3, OSG -E4, OSG -E5.

Dato che le murature in analisi risultavano differenti tra loro, si è scelto di approfondire la loro caratterizzazione mediante endoscopie localizzate in alcuni punti di particolare interesse, dove si presumevano esserci tessiture differenti o discontinuità.

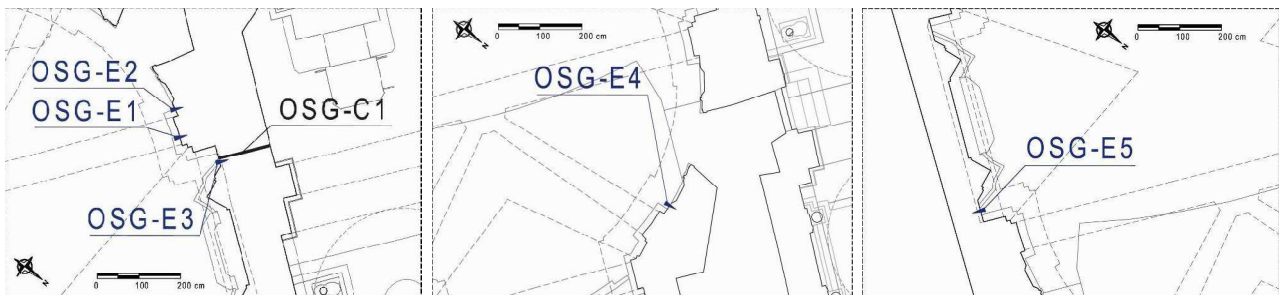


Figura 6.203 – Localizzazione delle endoscopie effettuate sulle murature dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi.

La prima indagine endoscopica ad essere stata eseguita, la OSG-E1, ha messo in evidenza una stratigrafia caratterizzata dalla presenza di alcuni mattoni fino a una profondità di circa 25cm e di conci di pietra nella restante sezione.

⁸³ Cfr. Casarin Filippo, *Relazione interpretativa all'esecuzione di indagini sperimentali propedeutiche agli interventi di restauro dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi L'Aquila, Padova, Luglio 2010*, pag. 49.

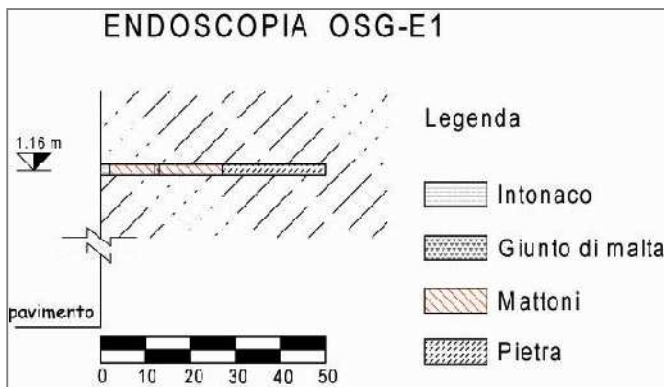


Figura 6.204 – Schemi rappresentativi della stratigrafia rilevata.



Figura 6.205 – Vista endoscopica OSG-E1.

Anche la stratigrafia OSG-E2 ha permesso di rilevare che la parte esterna della muratura è costituita da un laterizio (fino a circa 10cm), mentre la sezione muraria prosegue con conci di pietra⁸⁴.

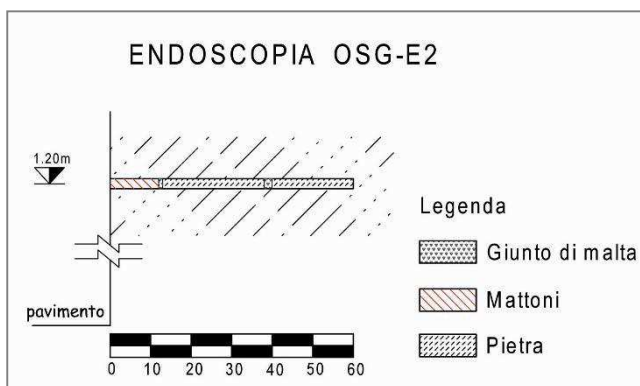


Figura 6.206 – Schemi rappresentativi della stratigrafia rilevata.



Figura 6.207 – Vista endoscopica OSG-E2.

Il rilievo della stratigrafia OSG-E3 conferma quanto rilevato attraverso il carotaggio e quindi una muratura costituita da conci di pietra⁸⁵.

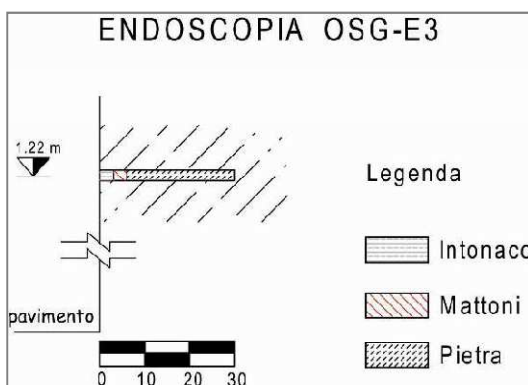


Figura 6.208 – Schemi rappresentativi della stratigrafia



Figura 6.209 – Vista endoscopica OSG-E3.

⁸⁴ Cfr. Casarin Filippo, *Relazione interpretativa all'esecuzione di indagini sperimentali propedeutiche agli interventi di restauro dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi L'Aquila, Padova*, Luglio 2010, pag. 50.

⁸⁵ Cfr. Casarin Filippo, *Relazione interpretativa all'esecuzione di indagini sperimentali propedeutiche agli interventi di restauro dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi L'Aquila, Padova*, Luglio 2010, pag. 51.

Un'endoscopia è stata effettuata anche sul pilastro collocato a nord ovest, precedentemente indagato mediante radar. Il rilievo della stratigrafia ha messo in evidenza la presenza di un laterizio fino ad una profondità di circa 10cm e conci di pietra per la restante sezione ispezionata⁸⁶.

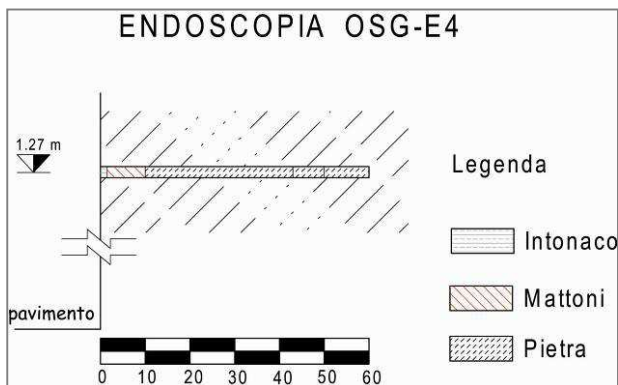


Figura 6.210 – Schemi rappresentativi della stratigrafia rilevata.



Figura 6.211 – Vista endoscopica OSG-E4.

Un'ultima endoscopia, OSG-E5, è stata effettuata sulla muratura perimetrale che si affaccia sul vicolo compreso tra via Sassa e via Cembalo. L'ispezione è stata effettuata in corrispondenza della muratura compresa tra la parasta e l'altare. Il rilievo ha messo in evidenza una sezione composta da conci di pietra di dimensioni variabili⁸⁷.

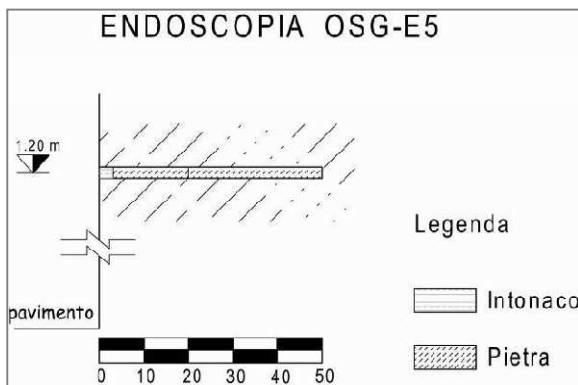


Figura 6.212 – Schemi rappresentativi della stratigrafia rilevata.



Figura 6.213 – Vista endoscopica OSG-E5.

PROVA CON MARTINETTO SINGOLO MS3

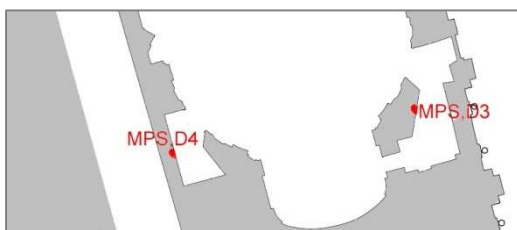


Figura 6.214 – Localizzazione delle prove con martinetti piatti e doppi.

Come le precedenti, le prove con i martinetti piatti, singoli e doppi, sono stati eseguiti dal gruppo di studio dell'Università degli Studi di Padova, per cui noi ci limitiamo a riportare esclusivamente i risultati utili ai fini del nostro studio.

La prova di martinetto piatto singolo MS3 si è svolta nelle murature interne dell'oratorio, alla quota di 50 cm circa dal piano di calpestio, sul pilastro, più volte indagato, posto a nord ovest. La muratura si presenta in pietrame disordinato, con inclusioni di elementi in laterizio.

⁸⁶ Cfr. Casarin Filippo, *Relazione interpretativa all'esecuzione di indagini sperimentali propedeutiche agli interventi di restauro dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi L'Aquila, Padova*, Luglio 2010, pag. 51.

⁸⁷ Cfr. Casarin Filippo, *Relazione interpretativa all'esecuzione di indagini sperimentali propedeutiche agli interventi di restauro dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi L'Aquila, Padova*, Luglio 2010, pag. 52.

La prova con martinetto ha mostrato uno stato di sforzo avente come valore medio 0.44 N/mm^2 , valore considerato "ragionevole" rispetto la porzione di muratura indagata. Interessanti sono le deformazioni del taglio eseguito per l'introduzione dello strumento: gli spostamenti registrati mostravano valori piuttosto ampi tra loro. Tale comportamento è relativamente comune alle murature irregolari in pietra come appunto questa⁸⁸.

PROVA CON DOPPIO MARTINETTO MD3

Successivamente la prova con martinetto piatto singolo si è eseguita la prova con martinetto piatto doppio. L'esame è stato condotto praticando un secondo taglio nel muro, parallelo a quello impiegato per la precedente prova con martinetto singolo, ad una distanza da questo di circa 65 cm.

La prova è stata condotta fino al raggiungimento di uno sforzo massimo pari a 2.00 N/mm^2 . La muratura appare sufficientemente rigida in direzione verticale, i cui elementi costitutivi sviluppano forme di ingranamento efficaci in risposta alla sollecitazione di compressione. L'andamento delle deformazioni verticali è sostanzialmente analogo per tutti i trasduttori impiegati nella prova, sebbene con componenti deformative differenti in modulo anche in maniera rilevante. Si è quindi potuto calcolare un Modulo Elastico medio pari a 2034 N/mm^2

PROVA CON MARTINETTO SINGOLO MS4

L'ultima prova con martinetto piatto singolo si è svolta nell'interno dell'oratorio, a circa 60 cm dal piano di calpestio, sulla muratura perimetrale lungo vicolo degli Scardassieri. La muratura si presenta in pietrame disordinato, con inclusioni di elementi in laterizio.

La prova con martinetto ha mostrato uno stato di sforzo avente come valore medio 0.24 N/mm^2 , valore considerato "ragionevole" rispetto la porzione di muratura indagata⁸⁹.

PROVA CON DOPPIO MARTINETTO MD4

Infine si è eseguita la prova con martinetto piatto doppio, condotta praticando un secondo taglio nel muro, parallelo a quello impiegato per la precedente prova con martinetto singolo, ad una distanza da questo di circa 50 cm.

La prova è stata condotta fino al raggiungimento di uno sforzo massimo pari a 2.00 N/mm^2 . La muratura appare sufficientemente rigida in direzione verticale, i cui elementi costitutivi sviluppano forme di ingranamento efficaci in risposta alla sollecitazione di compressione. L'andamento delle deformazioni verticali è sostanzialmente analogo per tutti i trasduttori impiegati nella prova, sebbene con componenti deformative differenti in modulo anche in maniera rilevante. Si è quindi potuto calcolare un Modulo Elastico medio pari a 1852 N/mm^2

⁸⁸ Cfr. Casarin Filippo, *Relazione interpretativa all'esecuzione di indagini sperimentali propedeutiche agli interventi di restauro dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi L'Aquila, Padova*, Luglio 2010, pp. 64-66.

⁸⁹ Cfr. Casarin Filippo, *Relazione interpretativa all'esecuzione di indagini sperimentali propedeutiche agli interventi di restauro dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi L'Aquila, Padova*, Luglio 2010, pp. 62-63.

COMMENTI AI RISULTATI

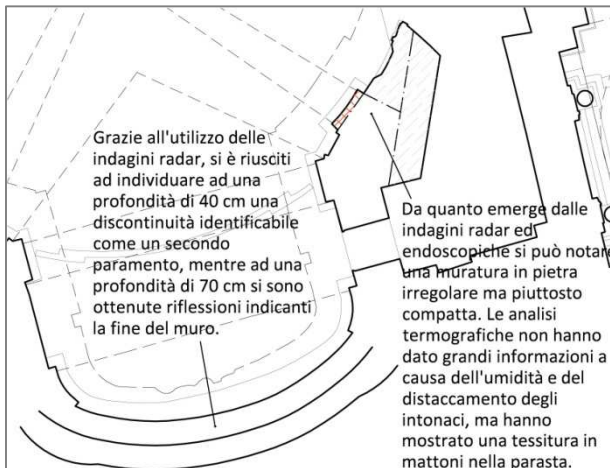


Figura 6.215 – Schema esemplificativo delle deduzioni tratte dalle analisi diagnostiche.

Dall'analisi dei risultati delle prove diagnostiche eseguite sulle murature perimetrali dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi è stata dedotta la presenza di diverse tessiture murarie nei diversi punti di prova. tali disomogeneità sono state confermate dalla **termografia**, verificata in ogni fotogramma da **prove endoscopiche** o **videoendoscopiche**, è stata individuata una prima tessitura muraria composta da conci di pietra irregolari ma regolarmente disposti secondo piani di posa regolari. La parasta addossata al muro absidale sinistro mostra una composizione di laterizi nella sua parte bassa, mentre per la sua altezza non è stata possibile l'indagine. I grandi pilastri collocati ai

lati dell'abside sembrano realizzati in conci di pietra irregolari, in particolare, proprio su questi elementi, la termografia ha messo in luce la problematica del distacco dell'intonaco, che non consente l'indagine del paramento sottostante. Per ultimo si è venuti a conoscenza della composizione dei basamenti delle colonne degli altari laterali: sarebbero composte da 4 pietre. Purtroppo l'indagine termografica non ha dato sempre risultati brillanti in quanto le problematiche di umidità, distacchi degli intonaci e a volte la presenza di un intonaco molto spesso hanno limitato il suo potere investigativo. Anche le prove radar, nonostante la difficoltà interpretativa delle acquisizioni causata dalla presenza molto forte di umidità nelle murature, hanno confermato quanto visto con le prove precedenti, indicando prevalentemente una composizione muraria in pietra e in alcuni casi rivestita all'esterno con laterizio.

Le **prove soniche** hanno mostrato una muratura molto eterogenea, dato i valori di velocità molto disomogenei tra loro. In molti casi, però, oltre la grande varietà di risultati ottenuti, si sono riscontrate velocità prossime a quella della propagazione di un'onda sonora nell'aria. Tale risultato è indicativo della presenza di cavità o lesioni interne al paramento. Nonostante questi risultati, non sempre confortanti, le **prove con martinetto piatto singolo** hanno mostrato una muratura sottoposta ad uno stato di sforzo non eccessivo: 0.44 N/mm^2 e 0.24 N/mm^2 . Grazie alle prove successive con **martinetto piatto doppio** si è letto inoltre, un discreto comportamento meccanico della muratura. Anche sottoponendo il paramento a valori di tensione medio-alti, la muratura ha mostrato valori di modulo elastico piuttosto soddisfacenti: 2034 N/mm^2 nel primo caso e 1852 N/mm^2 nel secondo.

Analiisi con termografia	Prova sonica	Prova con martinetti doppi
Tessiture murarie differenti	Media velocità = 973.1 m/s	Modulo elastico = 2034 N/mm²

Tabella 6.32 – Corrispondenza tra le prove termografiche, soniche e con martinetti doppi.

I_Prove di identificazione dinamica

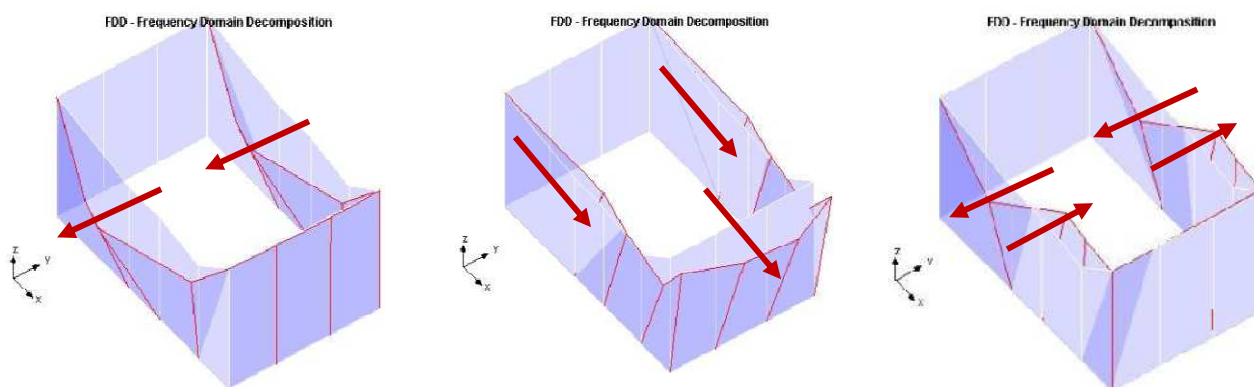
La campagna di indagini sullo stato di danneggiamento post-sismico dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi a L'Aquila ha compreso l'esecuzione di prove di identificazione dinamica progettate ed eseguite dall'Università degli Studi di Padova.

Le prove condotte avevano come obiettivo l'identificazione del comportamento dinamico di massima dell'edificio (frequenze naturali e forme modali) nello stato strutturale danneggiato prevalentemente caratterizzato dal ribaltamento della facciata. Le indagini sono consistite nella misurazione delle vibrazioni ambientali in numerosi punti di rilievo localizzati per lo più presso la sommità delle strutture murarie. Tali vibrazioni, generalmente non percepibili dall'essere umano, sono legate a differenti fonti di eccitazione quali il vento, microtremori del sottosuolo, vibrazioni indotte dai cantieri adiacenti, ecc.. Le indagini sono state estese anche agli edifici attigui onde cogliere il comportamento dinamico dell'aggregato. Sono stati eseguiti due setup di configurazione ognuna delle quali ha compreso fino a otto sensori, di cui due fissi e di riferimento per tutte le misurazioni effettuate, disposti secondo le due direzioni parallele agli assi longitudinale e trasversale dell'edificio.

Mediante il setup 1, in cui i sensori erano disposti sulla muratura divisoria con san Biagio, si sono potuti rilevare due tipologie di deformazione. La prima, ben distinta, classificabile come forma flessionale ortogonale al lato di dimensioni maggiori dell'edificio che coinvolge, nel medesimo modo, entrambe le due murature longitudinali. Con maggiore difficoltà si nota il secondo modo deformativo, caratterizzato da una forma longitudinale con comportamenti ortogonali alla facciata⁹⁰.

Dall'analisi dei dati ottenuti mediante il setup 2, durante l'esecuzione del quale i sensori erano applicati alla facciata, emergono forme modali relative al comportamento fuori piano della facciata; in particolare si riescono ad identificare quattro forme flessionali⁹¹.

Infine, analizzando congiuntamente i dati raccolti nei setup 1 e 2, vengono confermate le forme modali già individuate dai singoli setup e si riesce a leggere l'unitarietà di alcune forme che denotano l'interessamento strutturale complessivo. Vengono individuati sei modi, due relativi al comportamento "trasversale" dell'edificio, alle frequenze di 3.32 e 4.15 Hz e quattro modi relativi al comportamento fuori piano della facciata alle frequenze 3.56, 4.55, 5.12 e 9.55 Hz⁹².



⁹⁰ Cfr. Casarin Filippo, *Relazione interpretativa all'esecuzione di indagini sperimentali propedeutiche agli interventi di restauro dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi L'Aquila, Padova*, Luglio 2010, pp. 73-75.

⁹¹ Cfr. Casarin Filippo, *Relazione interpretativa all'esecuzione di indagini sperimentali propedeutiche agli interventi di restauro dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi L'Aquila, Padova*, Luglio 2010, pp. 75-77.

⁹² Cfr. Casarin Filippo, *Relazione interpretativa all'esecuzione di indagini sperimentali propedeutiche agli interventi di restauro dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi L'Aquila, Padova*, Luglio 2010, pp. 77-80.

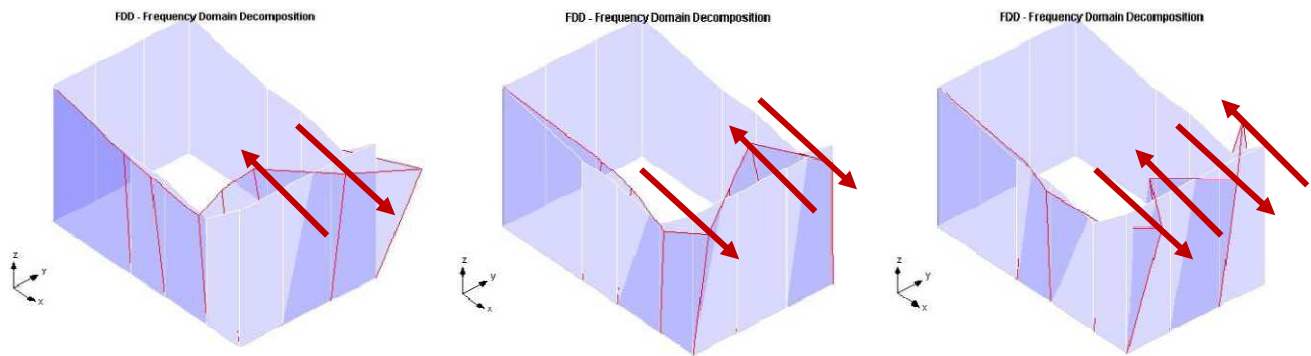


Figura 6.216 – Ipotesi di forme modali dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi.

BIBLIOGRAFIA:

- G. Baronio, L. Binda, F. Scirocco, *Controlli non distruttivi per la determinazione delle caratteristiche dei laterizi*, in "Atti del 15° Congresso ANDL", 1980.
- L. Binda, *Consolidamento degli edifici storici*, Appunti del corso A.A. 2005-2006
- L. Binda, *Le strutture: individuazione, rappresentazione e valutazione del degrado statica*, in A. Magliacci, F. Mola, S. Tattoni (a cura di), *Consolidamento e recupero dei centri urbani*, CLUP, Milano, 1998.
- L. Binda (a cura di), *Caratterizzazione delle murature in pietra e mattoni ai fini dell'individuazione di opportune tecniche di riparazione*, CNR – Gruppo Nazionale Difesa dai Terremoti, Roma, 2000.
- L. Binda, G. Baronio, C. Tiraboschi, *Indagini in situ su materiali e strutture della cattedrale di noto*, Seminario internazionale su: *Cattedrale di Noto e Frauenkirche di Dresda: indagini per il progetto di ricostruzione*, Noto, n°4, 2000.
- L. Binda, L. Cantini, P. Condoleo, S. Munda, C. Tedeschi, *The mechanical response of historical buildings to seismic events: the case of the church of St. Biagio in L'Aquila (Italy)*.
- L. Binda, A. Saisi, C. Tiraboschi, *Utilizzo delle indagini soniche per la diagnosi di strutture murarie danneggiate e riparate: applicazioni alla Cattedrale di Noto*, in "l'Edilizia", n°9-10 Settembre-Ottobre anno XIV, De Lettera Editore, Milano, 1999.
- L. Binda, A. Saisi, C. Tiraboschi, S. Valle, C. Colla, *Indagini soniche e radar sui pilastri e sulle murature della cattedrale di noto*, Seminario internazionale su: *Cattedrale di Noto e Frauenkirche di Dresda: indagini per il progetto di ricostruzione*, Noto, n°5, 2000.
- L. Binda, A. Saisi, S. Valle, L. Zanzi, *Indagini soniche applicate alle murature in mattoni. Calibrazione ed individuazione di paramenti significativi*, in "Atti del V Congresso Nazionale ASS.I.R.C.CO", Orvieto, 1997.
- L. Binda, C. Tiraboschi, *La prova con i martinetti piatti: una tecnica leggermente distruttiva per la diagnosi di strutture in muratura di pietra e mattoni*, in "l'Edilizia", n°3-4 Marzo-Aprile anno XIV, De Lettera Editore, Milano, 1999.
- L. Binda, C. Tiraboschi, R. Tonigini Folli, *On site and laboratory investigation on materials and structure of bell tower of Monza, 2nd int. Conf. RILEM on rehabilitation structure*, Australia.
- L. Cantini, P. Condoleo, S. Munda, C. Tedeschi, C. Tiraboschi, F. Casarin, E. Simonato, L. Binda, *Investigation methodology applied to the structure of the church of St. Biagio in L'Aquila*.
- Casarin Filippo, *Relazione interpretativa all'esecuzione di indagini sperimentali propedeutiche agli interventi di restauro dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi L'Aquila, Padova*, Luglio 2010.
- S. Pesenti (a cura di), *Il progetto di conservazione: linee metodologiche per le analisi preliminari, l'intervento, il controllo di efficacia. Rapporti di ricerca*, Alilinea editrice, Firenze, 2001.
- Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione interpretativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di San Biagio Amiterno L'Aquila*, Milano, Giugno 2010.
- Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, *Relazione relativa al contratto di ricerca "prove diagnostiche sulle strutture della chiesa di San Biagio Amiterno L'Aquila*, Giugno 2010.
- Politecnico di Milano e Università degli Studi di Padova, *Chiesa di San Biagio Amiterno L'Aquila*, Milano, Luglio 2009.
- P. Rossi, *Analysis of mechanical characteristics of brick masonry tested by means of in situ test*, 6th IBMaC, 1982, Rome.

- Sapienza Università di Roma, *Chiesa di San Biagio Amiternum: analisi dei danni causati dal terremoto del 6 Aprile 2009 al patrimonio culturale*, 30 Giugno 2009.
- Sapienza Università di Roma, *Chiesa di San Giuseppe dei Minimi: analisi dei danni causati dal terremoto del 6 Aprile 2009 al patrimonio culturale*, 30 Giugno 2009.

SITOGRAFIA:

- <http://www.archivi.beniculturali.it>
- <http://www.gndt.ingv.it>
- <http://www.protezionecivile.it>
- <http://www.archivi.beniculturali.it>
- <http://www.beniculturali.it>
- <http://www.culturaebeni.it>

NORMATIVA DI RIFERIMENTO:

- Rilem Lum 90/2 lum D.2 (1990) – *In situ stress based on the flat jack.*
- Rilem Lum 90/2 lum D.3 (1990) – *In situ strength and elasticity based on the flat jack.*
- Rilem MS 93/15 – *Improvement of the drilling method for the determination of moisture content in building materials.*
- ASTM C 1196 (1991) – *Standards test method for in situ compressive stress within solid until masonry estimated using the flat jack method, Philadelphia, ASTM.*
- ASTM C 1197 (1991) – *Standards test method for in situ measurement of masonry deformability proprieties using the flat jack method.*

CONCLUSIONI

Conclusioni e indicazioni preliminari al progetto di intervento.

a_ Chiesa di San Biagio.

Sulla base di una interpretazione preliminare del comportamento strutturale della chiesa e dei danni evidenziati dal rilievo del quadro fessurativo, la chiesa di S. Biagio è stata studiata tramite un'intensa campagna diagnostica per meglio comprendere l'estensione dei danni provocati dal terremoto. In particolare le indagini sono state suddivise sui quattro macroelementi che caratterizzano l'edificio: (i) la muratura absidale, che dalla ricerca storica risulta essere quella più antica; (ii) la muratura laterale, avente uno spessore elevato che si doveva indagare; (iii) la muratura di facciata, la cui rastremazione in pianta costituiva un'importante incognita da approfondire; (iiii) e i pilastri interni, visibilmente danneggiati dal sisma.

Per quanto riguarda la tessitura muraria delle strutture sopra menzionate, le indagini termografiche hanno evidenziato la presenza di porzioni di muratura realizzate con materiali differenti:

- La muratura in facciata e la muratura dell'abside sono costituite da pietre sbazzate, con presenza di alcuni laterizi.
- La navata centrale presenta una copertura a volta in legno, nella quale anche gli archi hanno una struttura lignea, mentre nelle navate minori, gli archi e i cupolini sono in muratura.
- Le indagini hanno inoltre evidenziato la tessitura muraria dei pilastri, costituiti da grossi corsi di pietra regolari alternati a corsi di mattoni.
- In alcuni pilastri è stata evidenziata la presenza di materiale disomogeneo, costituito da mattoni e piccole pietre, in corrispondenza dei grossi conci, confermata dal successivo saggio stratigrafico.

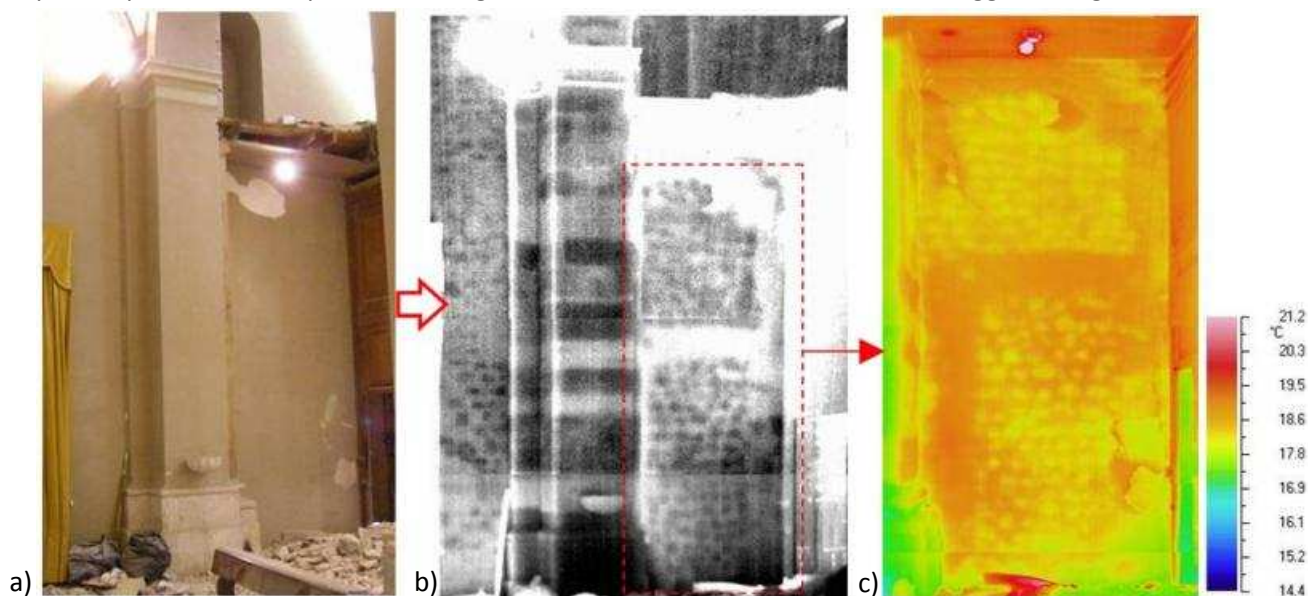


Figura C.1 – Risultati delle prove termografiche condotte sulla controfacciata: a) area esaminata con la termocamera; b) termografia ottenuta dalla mosaicatura dei singoli termogrammi acquisiti sull'area di prova; c) dettaglio dell'area che presenta un'apertura tamponata con relativo architrave.

Le prove soniche hanno evidenziato la compattezza e la densità della muratura, sia di quella absidale che di quella della facciata. Tra queste va comunque rilevata una differenza: in entrambi i casi la prova sonica conferma una muratura composta da elementi adeguatamente ammortati, ma nel caso della tessitura muraria della facciata, il sistema costruttivo risulta essere più ammortato.

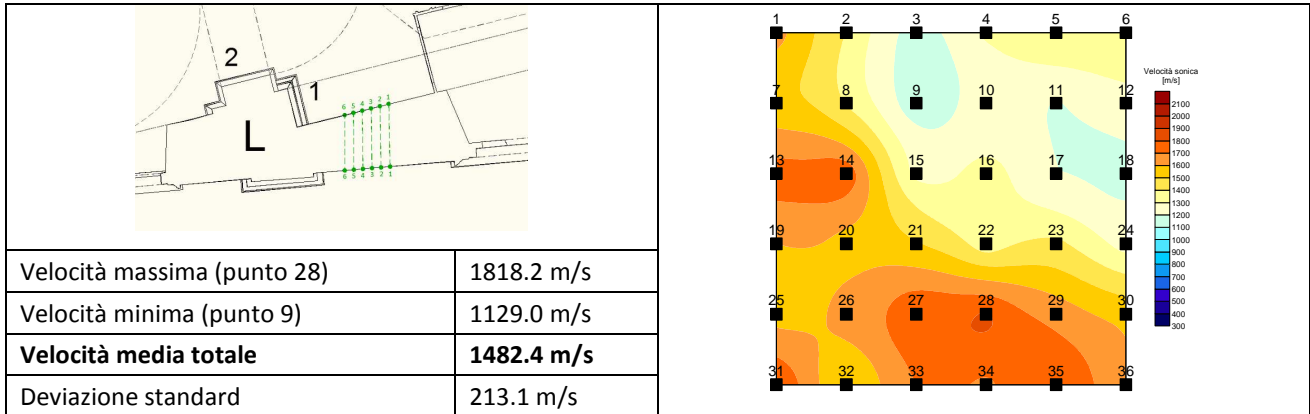


Tabella C.1 – Sintesi dei risultati della prova sonica condotta sulle muratura della facciata.

Per quanto riguarda i pilastri, si evidenzia una differente velocità alla base rispetto al fusto: alcune lastre di rivestimento poste alla base dei pilastri risultano essere staccate dal loro supporto e per questo i risultati della prova ne sono stati influenzati. Questa condizione si verifica nei pilastri B e G.

La prova condotta sullo sviluppo verticale del pilastro (da quota 24 cm a quota 222 cm da terra) ha denotato velocità omogenee ed elevate, che indicano un'adeguata connessione tra gli elementi della struttura. In alcuni casi però, le velocità riscontrate indicavano la presenza di discontinuità interne alla struttura dei pilastri e in questi punti sono state successivamente condotte delle prove lievemente invasive per capire tale risultato fosse associabile al quadro fessurativo o imputabile ad altre cause.

La distribuzione dello stato di sforzo puntuale ricavata dalle prove con i martinetti piatti singoli ha indicato valori bassi nella controfacciata, peraltro giustificati dalla presenza del doppio muro e dal crollo della porzione legata al timpano, mentre per la muratura dell'abside lo sforzo è pari a $0,21 \text{ N/mm}^2$.

Per quanto riguarda i pilastri, sono stati rilevati valori più elevati: $0,58 \text{ N/mm}^2$, per il pilastro di dimensioni maggiori (G) e $0,71 \text{ N/mm}^2$ per il pilastro di dimensioni minori (H).

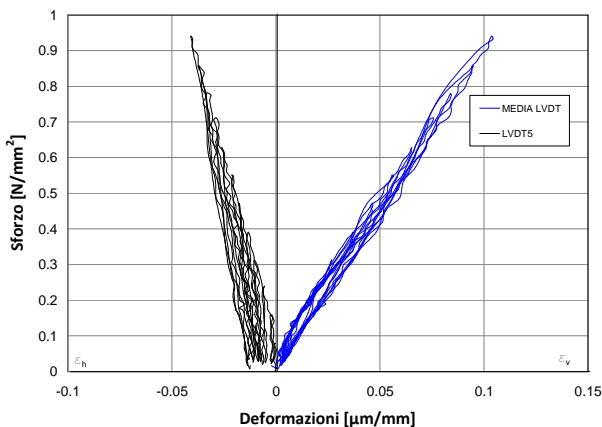


Grafico C.1 – Prova martinetto doppio SB-J1D. Grafico sforzi-deformazioni ottenuto dalla media dagli LVDT 1, 2, 3, 4 e 5.

e dei materiali.

Dalle prove con il martinetto doppio risulta un buon comportamento tenso-deformativo della muratura della controfacciata e di quella absidale. Dall'esame dei grafici sforzo-deformazione, ottenuti per ciascuna prova, si nota che il paramento murario dell'abside presenta una maggiore deformabilità rispetto a quello della controfacciata, caratterizzato da un'elevata rigidità.

I saggi locali sui pilastri e sulle murature hanno messo in evidenza quanto emerso dalle indagini termografiche e successivamente dalle prove RADAR, evidenziando una buona compattezza delle murature

Per quanto riguarda le aree interessate da ispezione tramite scassi parziali (così come quelle di verifica degli ammorsamenti) si può affermare che in tali zone risulterebbe difficile riparare la muratura con la tecnica di iniezione di miscele di tipo idraulico, proprio a causa della compattezza riscontrata internamente alla sezione muraria. Inoltre, le zone che risultano ospitare dei vuoti, a causa della presenza di buche puntaie, andrebbero riparate mediante l'inserimento di pietre o laterizi, in modo da ripristinare continuità all'elemento strutturale, senza modificare la sua elasticità localmente. Tuttavia non sono escluse porzioni murarie dove le riparazioni mediante iniezioni sono possibili. Inoltre sono senz'altro iniettabili le zone sede di micro e macro fessure dovute al terremoto.



Figura C.2 – Ammorsamento AQ-SBA4

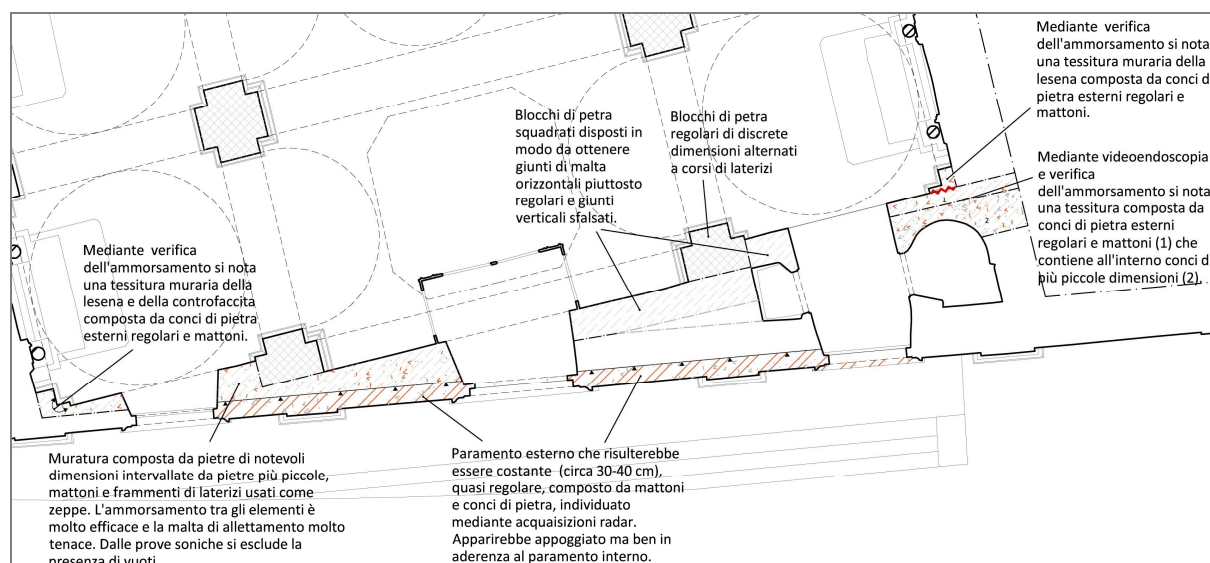


Figura C.3 – Schema esemplificativo delle deduzioni tratte dalle analisi diagnostiche.

Per concludere, la chiesa nel suo complesso ha ben resistito al terremoto e ciò denota che essa è stata costruita con tecniche adeguate che hanno ben risposto agli sforzi indotti dal sisma. Ovviamente alcune parti più vulnerabili, come la facciata, hanno subito i danni maggiori (crollo del timpano). Anche la volta lignea ha subito un puntuale e limitato danneggiamento, tuttavia esso non è dovuto a un non corretto comportamento della volta durante il terremoto (che anzi, è stato adeguato) ma al crollo di parti del tetto che, col loro peso, hanno danneggiato la struttura lignea della volta. Quindi in fase di progetto, si ritiene opportuno ripristinare queste lacune, senza tuttavia andare a modificare lo stato di fatto della volta lignea. Va notato che la volta lignea della navata centrale è impostata su archi costruiti in legno (ed identificati immediatamente grazie alle prove termografiche): questo sistema costruttivo è differente da quello impiegato nelle due navate minori, dove le volte sono interamente in muratura. Questa eterogeneità delle tecniche costruttive potrebbe essere stata concepita proprio per far fronte al pericolo sismico a cui quest'area è stata soggetta nei secoli. Anche le indagini dinamiche, condotte ed elaborate dal gruppo di ricerca dell'Università di Padova, rivelano che le strutture della chiesa attualmente in opera hanno tutte le potenzialità necessarie a contrastare un evento sismico, purché siano garantiti ammorsamenti efficaci nei principali nodi strutturali dell'edificio

b_ Oratorio di San Giuseppe

I risultati emersi dalle prove diagnostiche condotte presso l'oratorio di S. Giuseppe dei Minimi a L'Aquila forniscono utili indicazioni relativamente alla tipologia della muratura presente, analizzata sia con metodologie di prova non distruttive che debolmente invasive.

In particolare le prove soniche, eseguite in maniera diffusa lungo le murature perimetrali dell'oratorio e su uno dei quattro pilastri di forma irregolare che sorreggono la copertura a volta dell'aula, hanno fornito indicazioni di carattere qualitativo sulle strutture analizzate.

Dalla lettura dei risultati emerge la presenza di cavità interne e irregolarità nella muratura a fianco della porta di ingresso, successivamente indagata mediante endoscopio, considerati i bassi valori di velocità sonica emersi (velocità massima 995,4 m/s, velocità minima 396,0 m/s, velocità media totale 636,9 m/s).

La prova condotta in facciata ha mostrato risultati migliori (velocità massima 1836,7 m/s velocità minima 881,1 m/s, velocità media totale 1257,5 m/s), evidenziando una muratura a più paramenti ben ammorati tra loro.

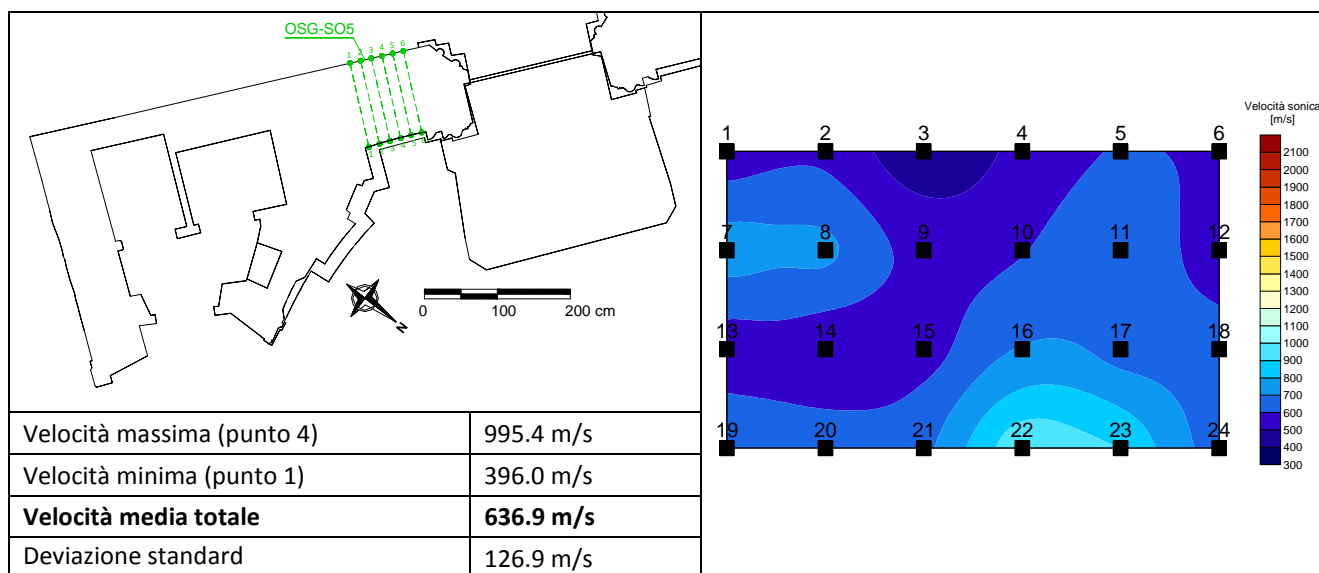


Tabella C.2 – Sintesi dei risultati della prova sonica condotta sulle murature della facciata.

Le prove soniche condotte lungo le murature perimetrali, caratterizzate peraltro da spessori disomogenei, hanno fornito risultati associabili a strutture a più paramenti debolmente ammorati (velocità massima 1616,7 m/s, velocità minima 505,6 m/s, velocità media totale 1042,9 m/s).

Sul pilastro a sinistra dell'abside si sono ottenuti valori di velocità massima pari a 1395,1 m/s, velocità minima pari a 457,6 m/s e velocità media totale 973,1 m/s. L'eterogeneità di questi risultati dipende dalla geometria complessa di questo elemento, che in generale risulta composto da una struttura a sacco adeguatamente ammorata ai suoi paramenti esterni.

Le prove termografiche condotte in corrispondenza di alcune murature dell'abside centrale e dell'abside laterale ovest mostrano tessiture murarie differenti: le murature risultano composte da conci di pietra di dimensioni irregolari, ma correttamente disposti lungo piani di posa regolari. Le paraste sono invece formate da blocchi quadrati di pietra intervallati da uno o due corsi di laterizi.

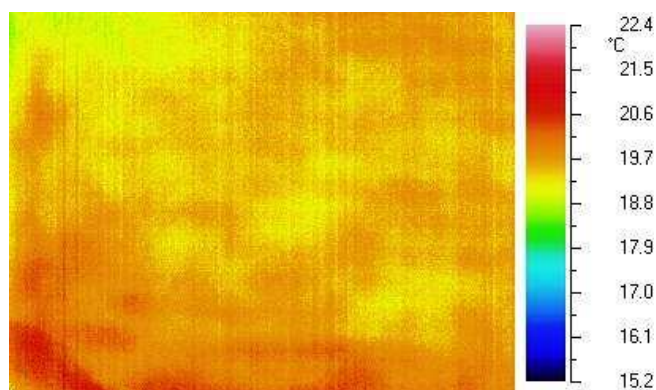


Figura C.4 – Prova termografica sulla muratura perimetrale ovest.



Figura C.5 – Vista endoscopica sulla muratura perimetrale ovest.

Le prove radar hanno confermato quanto identificato mediante le prove soniche e successivamente osservato mediante ispezione visiva diretta (carotaggi ed endoscopie): composizione interna prevalentemente in pietra e in alcuni casi rivestimento esterno in muratura in laterizio. Le prove RADAR sono state particolarmente difficili da interpretare a causa della presenza di umidità internamente ad alcune murature.

Nonostante tali indicazioni di eterogeneità provenienti dalle indagini non distruttive, le prove con doppio martinetto piatto hanno indicato un discreto comportamento della muratura analizzata in quanto si sono raggiunti valori di tensione, in fase di prova, medio-elevati ($1,50-2,00 \text{ N/mm}^2$). E' inoltre emerso il forte stato di compressione cui è soggetta la muratura dell'angolata sud-est, ove si è riscontrato uno stato di compressione pari a $4,51 \text{ N/mm}^2$, a causa della presenza di un apparecchio murario regolare e quindi maggiormente rigido del resto delle murature della facciata e in relazione al forte fuori piombo impresso alla stessa facciata dalla rotazione subita in seguito all'evento sismico. Come risultato di questa prova si attendeva un valore di compressione più elevato rispetto agli altri punti in cui la muratura è meno regolare e ha i giunti di malta più ampi, ma dato l'elevato valore di sforzo riscontrato, si suggerisce di approfondire la ricerca con ulteriori riscontri, ad esempio l'esecuzione di un altro martinetto singolo magari sul lato adiacente.

I danni subiti dalle murature risultano pertanto legati al moto di ribaltamento al quale è stata soggetta la facciata. Legare nuovamente tra loro le murature fessurate in prossimità della facciata sarà l'intervento di primaria importanza e sicuramente di difficile soluzione. Anche l'attuale pendenza della facciata costituisce un nodo chiave per intervento, dovendo decidere se limitarsi a conservare l'attuale fuoriuscita dal piano verticale, previo consolidamento, o se elaborare una strategia per correggere o attenuare l'attuale pendenza. Le murature dell'edificio sono comunque caratterizzate, localmente, da discontinuità interne imputabili alle numerose trasformazioni subite dall'edificio nel tempo. In queste aree è lecito considerare tecniche di consolidamento come le iniezioni per legare meglio i vari paramenti delle murature. Va rilevato che la volta interna, costruita in epoca recente con soluzioni moderne, non abbia dato luogo ad interazioni negative col resto della struttura originale, essendo estremamente leggera e sufficientemente deformabile.

Infine, le prove di identificazione dinamica hanno consentito di ottenere un'immagine abbastanza nitida dei parametri modali della struttura nel suo complesso allo stato attuale. Si sono infatti identificati chiaramente sei forme modali (2 trasversali al lato lungo dell'edificio e 4 relative al comportamento della facciata). Tali informazioni potranno successivamente essere correlate alla risposta strutturale dell'edificio una volta sottoposto ai previsti interventi di consolidamento, anche mediante l'ausilio del sistema di monitoraggio di prossima installazione.



ALLEGATI

Allegato 1: prova sonica SB-SO1.

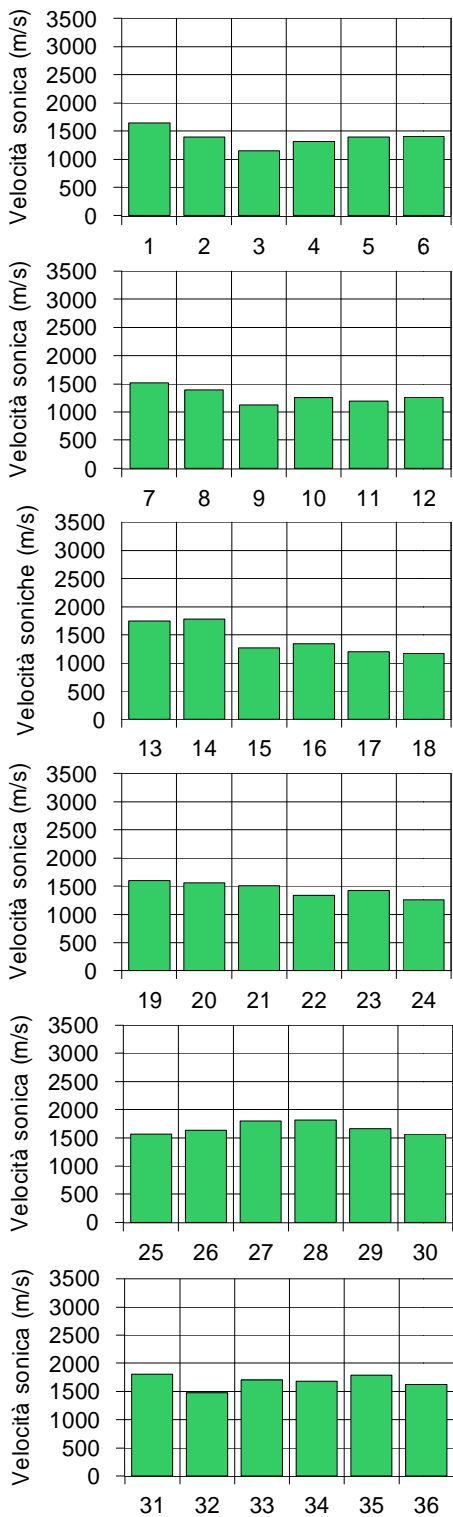
Prova SB-SO1		Data: 17/05/2010	
Punto di prova	Spessore (m)	Tempo (s)	Velocità (m/s)
1	1.03	0.000628	1640.1
2	1.00	0.000716	1396.7
3	0.98	0.000852	1150.2
4	0.96	0.000728	1318.7
5	0.93	0.000668	1392.2
6	0.91	0.000648	1404.3
7	1.03	0.000680	1514.7
8	1.00	0.000720	1388.9
9	0.98	0.000868	1129.0
10	0.96	0.000768	1250.0
11	0.93	0.000780	1192.3
12	0.91	0.000720	1263.9
13	1.03	0.000592	1739.9
14	1.00	0.000560	1785.7
15	0.98	0.000772	1269.4
16	0.96	0.000712	1348.3
17	0.93	0.000772	1204.7
18	0.91	0.000780	1166.7
19	1.03	0.000644	1599.4
20	1.00	0.000640	1562.5
21	0.98	0.000650	1507.7
22	0.96	0.000718	1337.1
23	0.93	0.000652	1426.4
24	0.91	0.000724	1256.9
25	1.03	0.000661	1558.3
26	1.00	0.000614	1628.7
27	0.98	0.000544	1801.5
28	0.96	0.000528	1818.2
29	0.93	0.000560	1660.7
30	0.91	0.000580	1569.0
31	1.03	0.000568	1813.4
32	1.00	0.000676	1479.3
33	0.98	0.000576	1701.4
34	0.96	0.000572	1678.3
35	0.93	0.000520	1788.5
36	0.91	0.000560	1625.0

Tabella 1 – Prova sonica SB-SO1. Risultati ottenuti per ogni punto di prova.

Scheda 1

Prova SB-SO1	Tipo di prova: indagini soniche per trasparenza	
Luogo: L'Aquila	Cantiere: Chiesa di S. Biagio	Data: 17/05/2010

Distribuzione delle velocità



Schema delle traiettorie usate per la prova

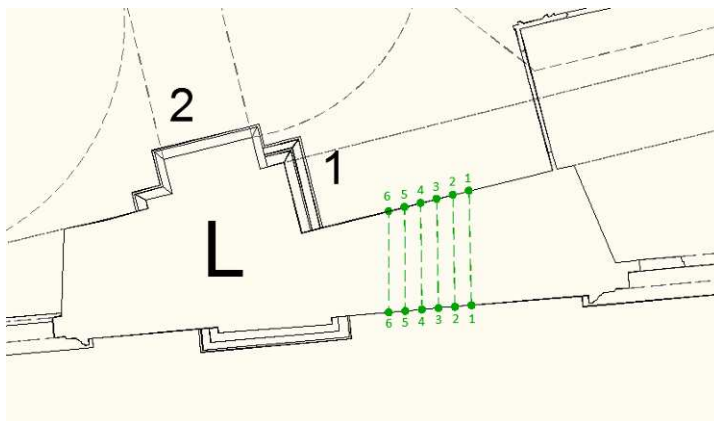
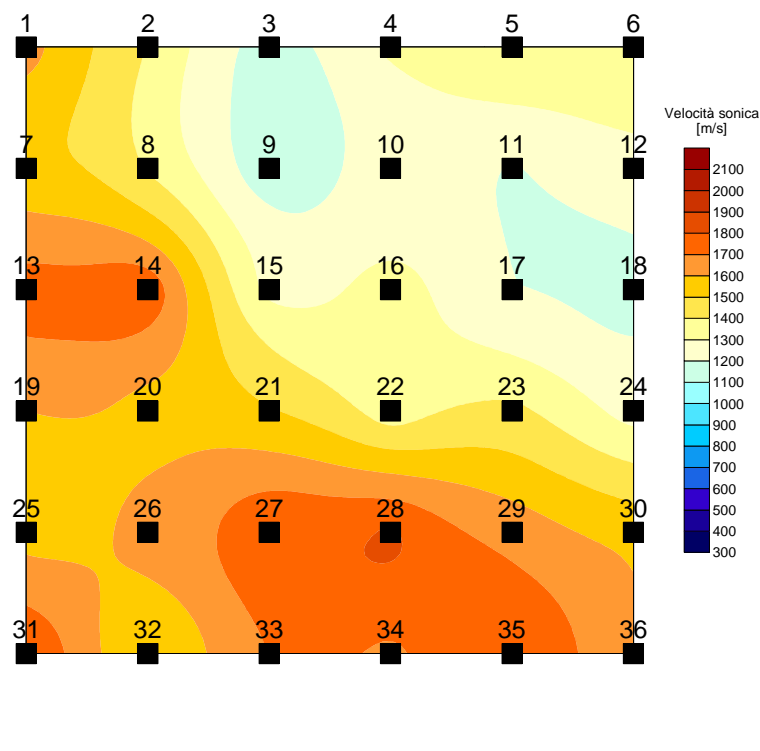


Grafico di superficie delle velocità



Statistiche

Velocità massima (punto 28)	1818.2 m/s
Velocità minima (punto 9)	1129.0 m/s
Velocità media totale	1482.4 m/s
Deviazione standard	213.1 m/s

Tabella 2 – Scheda riepilogativa 1: Prove soniche per trasparenza SB-SO1.

Allegato 2: Prova con martinetto piatto singolo SB-J1S

Fase di prova	Sforzo (N/mm ²)	Base 1 (mm)	Base 2 (mm)	Base 3 (mm)	Base 4 (mm)
prima del taglio	0	0	0	0	0
dopo il Taglio	0	-	-11	4	3
CICLO 1	0	-	-3	9	3
Ripristino	0.082	-	-5	0	-1
	0.164	-	-9	-4	-6
	0.246	-	-21	-15	-17
Scarico ciclo 1	0.164	-	-10	-4	-6
	0.082	-	-2	1	-2
	0	-	2	9	5

Tabella 3 – Valori ottenuti dalla prova SB-J1S.

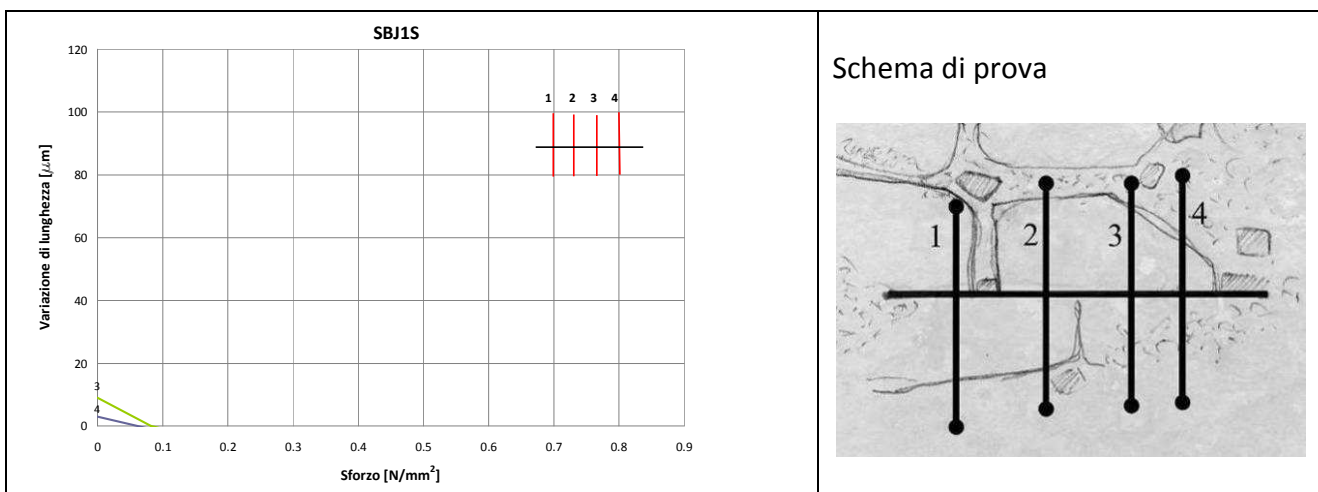


Grafico 1 – Prova martinetto singolo SB-J1S. Andamento della distanza tra le basi di misura in funzione dello sforzo applicato.

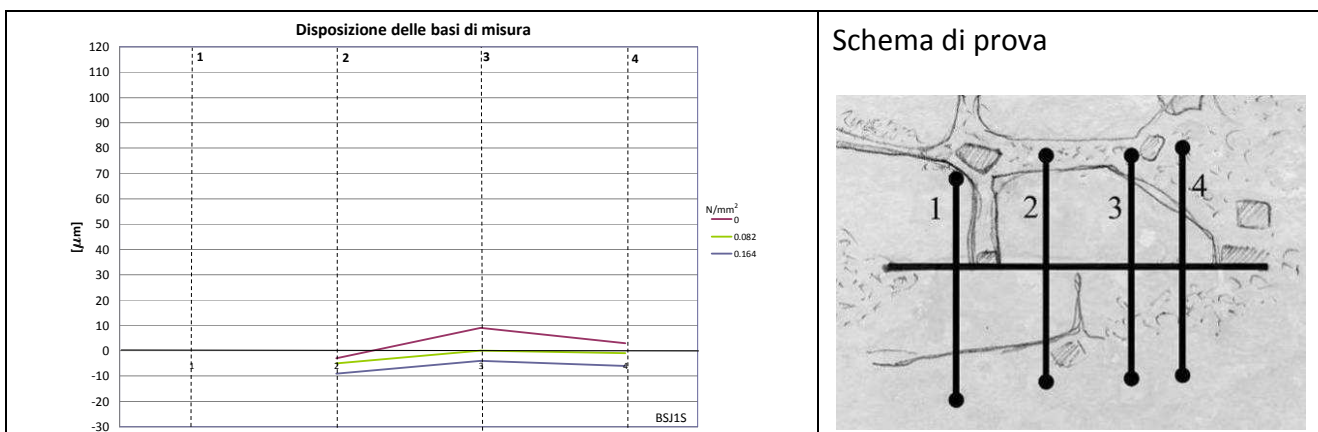


Grafico 2 – Prova martinetto singolo SB-J1S. Andamento della chiusura del taglio in funzione dello sforzo applicato.

Base n.	Sforzo (N/mm ²)
1	-
2	-
3	0.08
4	0.06
Sforzo medio	0.07

Tabella 4 – Valori di ripristino calcolati con la prova SB-J1S.

Allegato 3: Prova con martinetto piatto doppio SB-JD

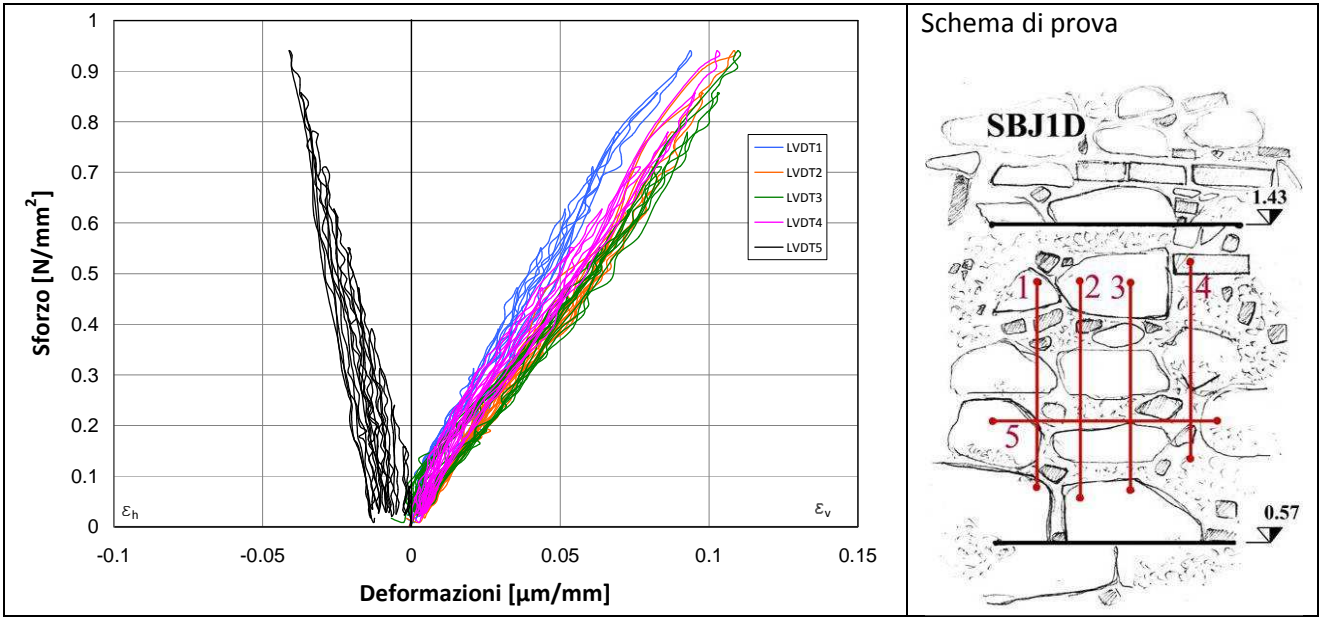


Grafico 3 – Prova martinetto doppio SB-J1D. Grafico sforzi-deformazioni ottenuto dagli LVDT 1, 2, 3, 4 e 5.

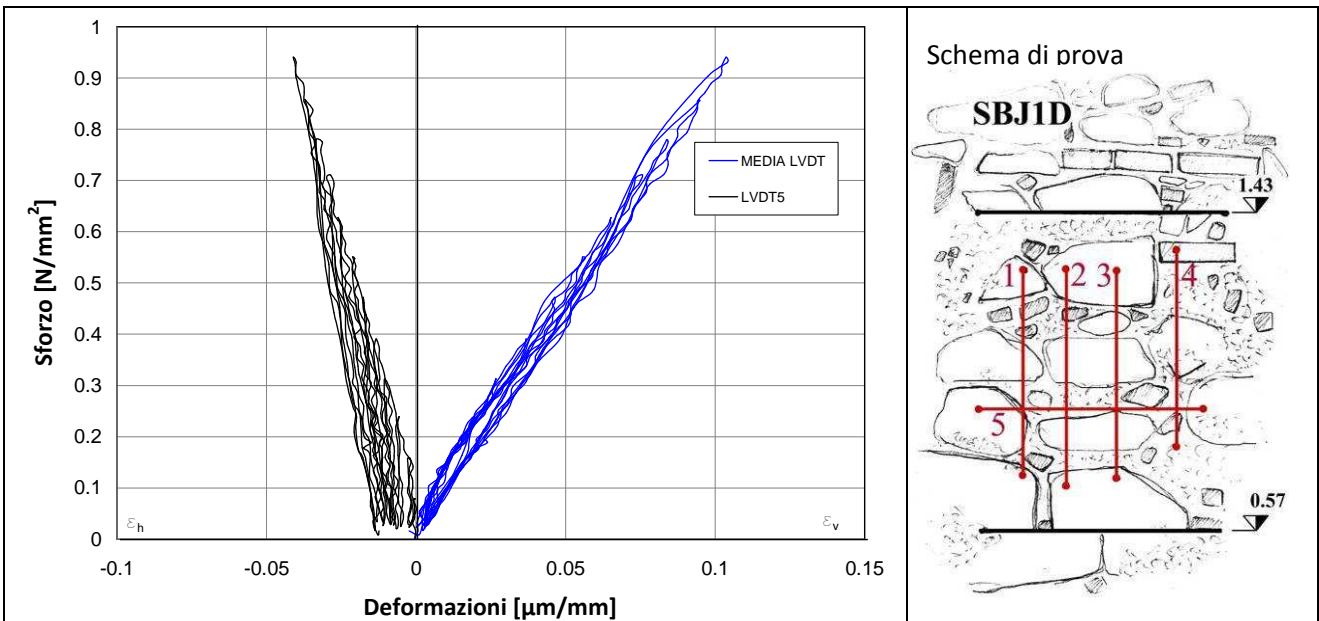


Grafico 4 – Prova martinetto doppio SB-J1D. Grafico sforzi-deformazioni ottenuto dalla media dagli LVDT 1, 2, 3, 4 e 5.

LVDT	Intervallo elastico [N/mm ²]	Modulo Elastico [N/mm ²]	Coeff. di dilatazione trasversale
Media 1, 2, 3, 4	0.17 – 0.80	9099	0.40

Tabella 5 – Modulo elastico e coefficiente di dilatazione trasversale ottenuti dalla prova SB-J1S.

Allegato 4: Prova Sonica SB-SO2

Prova SB-SO2		Data: 17/05/2010	
Punto di prova	Spessore (m)	Tempo (s)	Velocità (m/s)
1	1.33	0.001356	980.8
2	1.33	0.001732	767.9
3	1.33	0.001456	913.5
4	1.33	0.001211	1098.3
5	1.33	0.001744	762.6
6	1.33	0.001611	825.6
7	1.33	0.000983	1353.0
8	1.33	0.001216	1093.8
9	1.33	0.001312	1013.7
10	1.33	0.001357	980.1
11	1.33	0.001321	1006.8
12	1.33	0.001140	1166.7
13	1.33	0.001036	1283.8
14	1.33	0.001039	1280.1
15	1.33	0.000968	1374.0
16	1.33	0.001016	1309.1
17	1.33	0.000856	1553.7
18	1.33	0.000917	1450.4
19	1.33	0.001196	1112.0
20	1.33	0.001244	1069.1
21	1.33	0.000776	1713.9
22	1.33	0.000896	1484.4
23	1.33	0.000792	1679.3
24	1.33	0.000816	1629.9
25	1.33	0.000916	1452.0
26	1.33	0.001208	1101.0
27	1.33	0.000796	1670.9
28	1.33	0.000719	1849.8
29	1.33	0.000855	1555.6
30	1.33	0.000728	1826.9
31	1.33	0.000884	1504.5
32	1.33	0.001296	1026.2
33	1.33	0.001028	1293.8
34	1.33	0.000896	1484.4
35	1.33	0.000600	2216.7
36	1.33	0.000640	2078.1

Tabella 6 – Prova sonica SB-SO2. Risultati ottenuti per ogni punto di prova.

Scheda 2

Prova SB-SO2	Tipo di prova: indagini soniche per trasparenza	
Luogo: L'Aquila	Cantiere: Chiesa di S. Biagio	Data: 17/05/2010

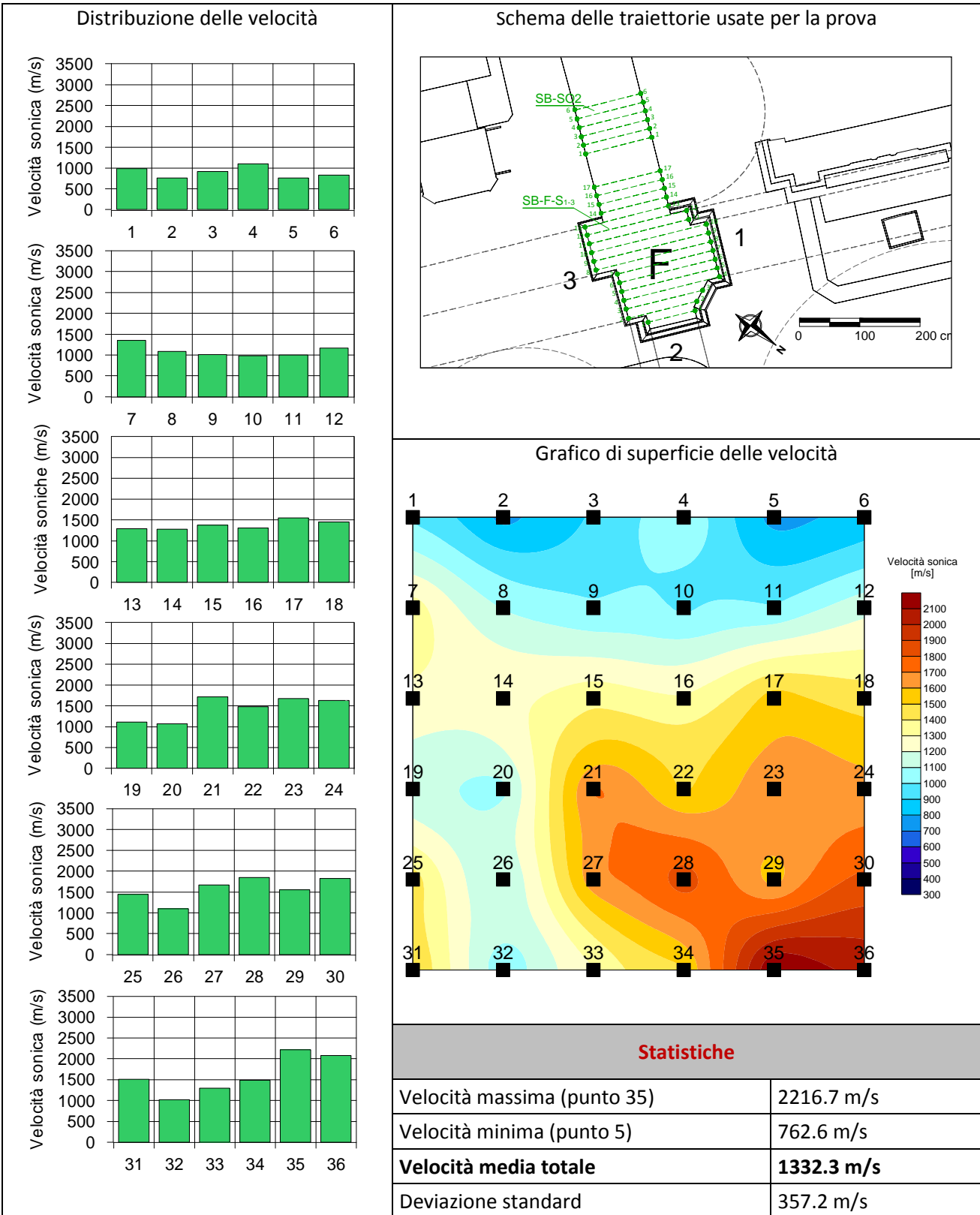


Tabella 7 – Scheda riepilogativa 2: Prove soniche per trasparenza SB-SO2.

Allegato 5: Prova con martinetto piatto SB-J2S

Fase di prova	Sforzo (N/mm ²)	Base 1 (mm)	Base 2 (mm)	Base 3 (mm)	Base 4 (mm)
prima del taglio	0	0	0	0	0
dopo il Taglio	0	23	43	34	28
con martinetto	0	30	37	32	26
CICLO 1	0.078	28	35	27	17
	0.156	23	27	23	13
	0.234	23	26	19	12
	0.312	14	22	16	8
	0.39	12	17	8	2
	0.468	9	11	5	2
	0.546	3	7	2	-3
Ripristino	0.624	0	4	-3	-5
Scarico ciclo 1	0.468	7	12	5	2
	0.312	17	18	13	8
	0.156	23	26	20	12
	0	28	29	23	15
CICLO 2	0	30	35	25	19
	0.078	29	33	25	15
	0.156	23	25	19	10
	0.234	18	24	17	8
	0.312	18	20	13	10
	0.39	14	15	9	7
	0.468	11	12	5	0
	0.546	3	4	-4	-5
RIPRISTINO	0.624	-1	-1	-5	-2
Scarico ciclo 2	0.468	8	10	2	2
	0.312	12	16	10	7
	0.156	26	23	19	17
	0	32	34	28	22

Tabella 8 – Valori ottenuti dalla prova SB-J3S.

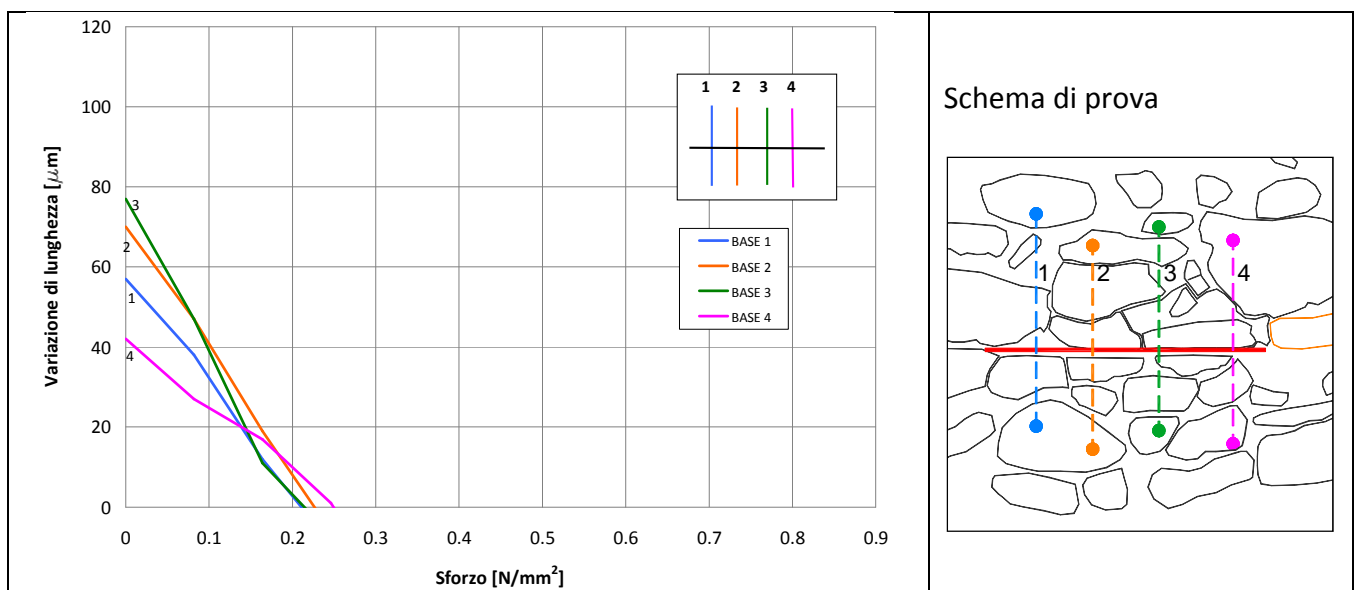


Grafico 5 – Andamento delle basi di spostamento in rapporto allo sforzo applicato.

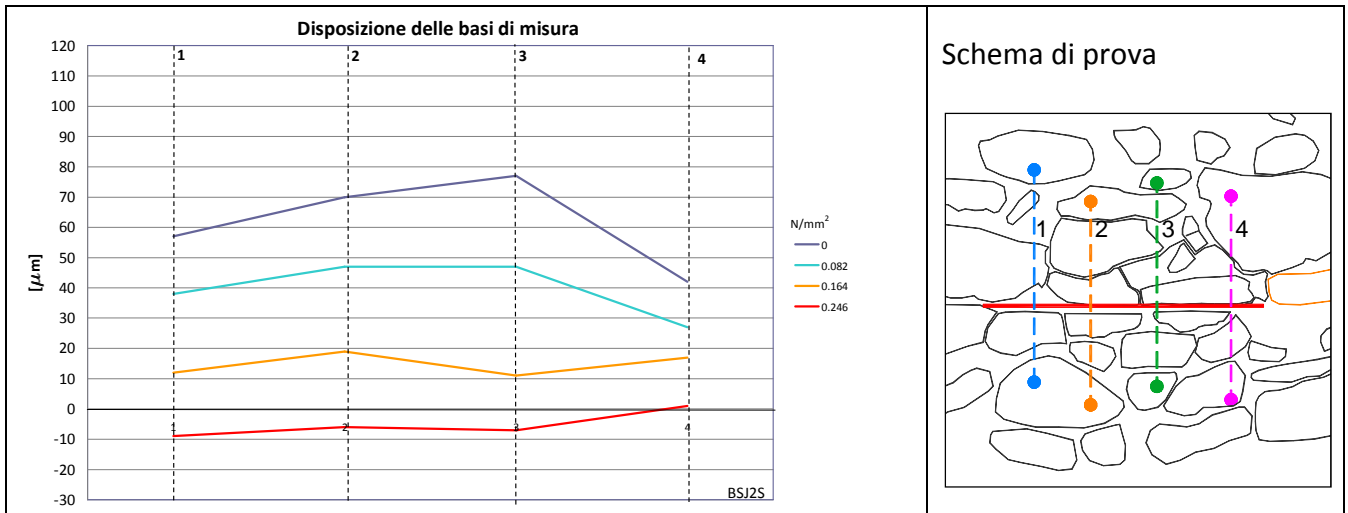


Grafico 6 – Andamento della chiusura del taglio in rapporto allo sforzo applicato.

Base n.	Sforzo (N/mm^2)
1	0.20
2	0.22
3	0.20
4	0.24
Sforzo medio	0.21

Tabella 9 – Valori di ripristino calcolati con la prova SB-J3S.

Allegato 6: Prova con martinetto piatto doppio SB-J2D

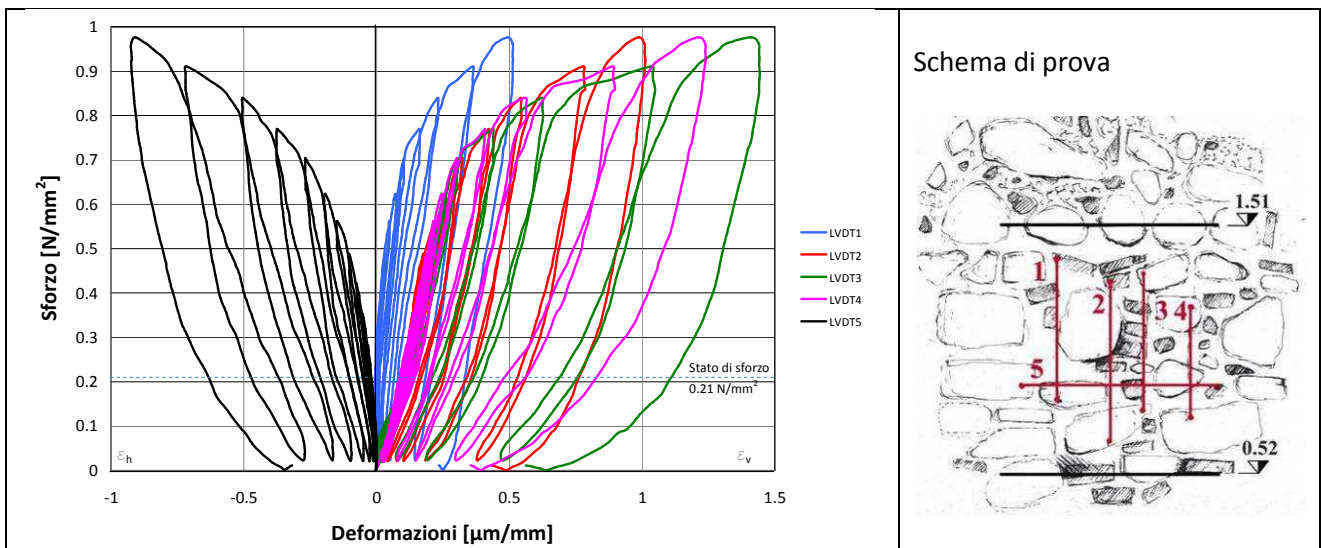


Grafico 7 – Prova martinetto doppio SB-J2; grafico sforzi-deformazioni.

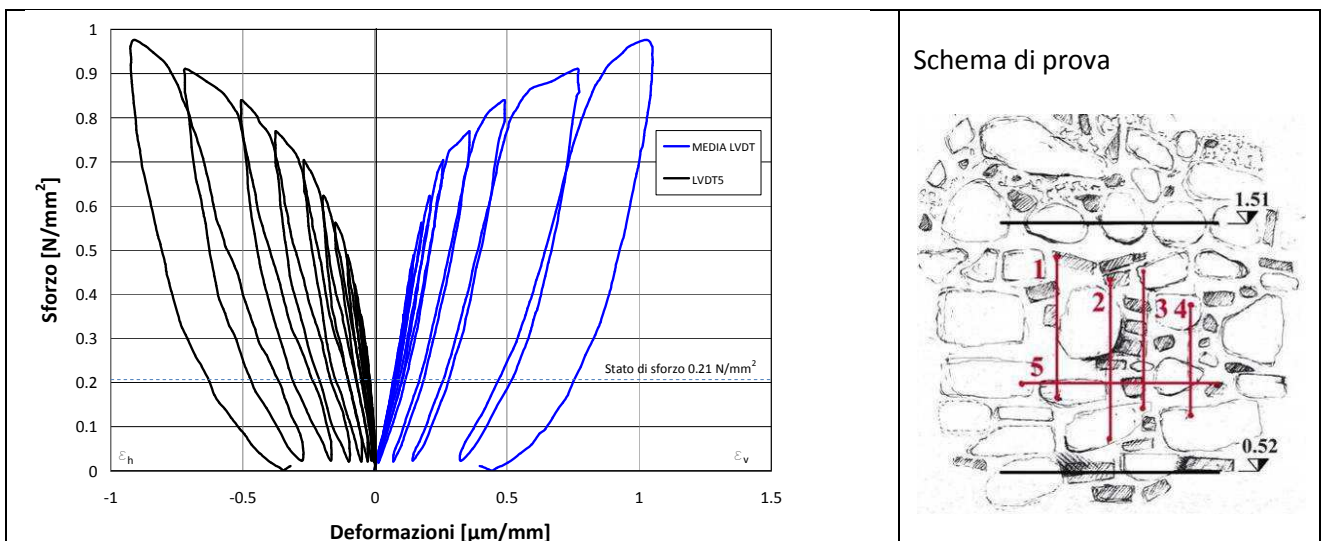


Grafico 8 – Prova martinetto doppio SB-J2; grafico sforzi-deformazioni ottenuto dalla media dei 4 LVDT.

LVDT	Intervallo elastico [N/mm ²]	Modulo Elastico [N/mm ²]	Coeff. di dilatazione trasversale
Media 2, 3, 4	0.20 – 0.49	3381	...

Tabella 10 – Modulo elastico e coefficiente di dilatazione trasversale ottenuti dalla prova SB-J3S.

Allegato 7: Prove soniche sul pilastro B

Scheda 3

Prova: SB-B-S1-3

Schemi di prova	Risultati	
<p>Schema di prova</p>	Velocità media	1422.9 m/s
	Deviazione standard	376.5 m/s
	Velocità media livello A	1197.4 m/s
	Velocità media livello B	1549.8 m/s
	Velocità media livello C	1449.1 m/s
	Velocità media livello D	1433.7 m/s
	Velocità media livello E	1509.4 m/s
	Velocità media livello F	1397.6 m/s

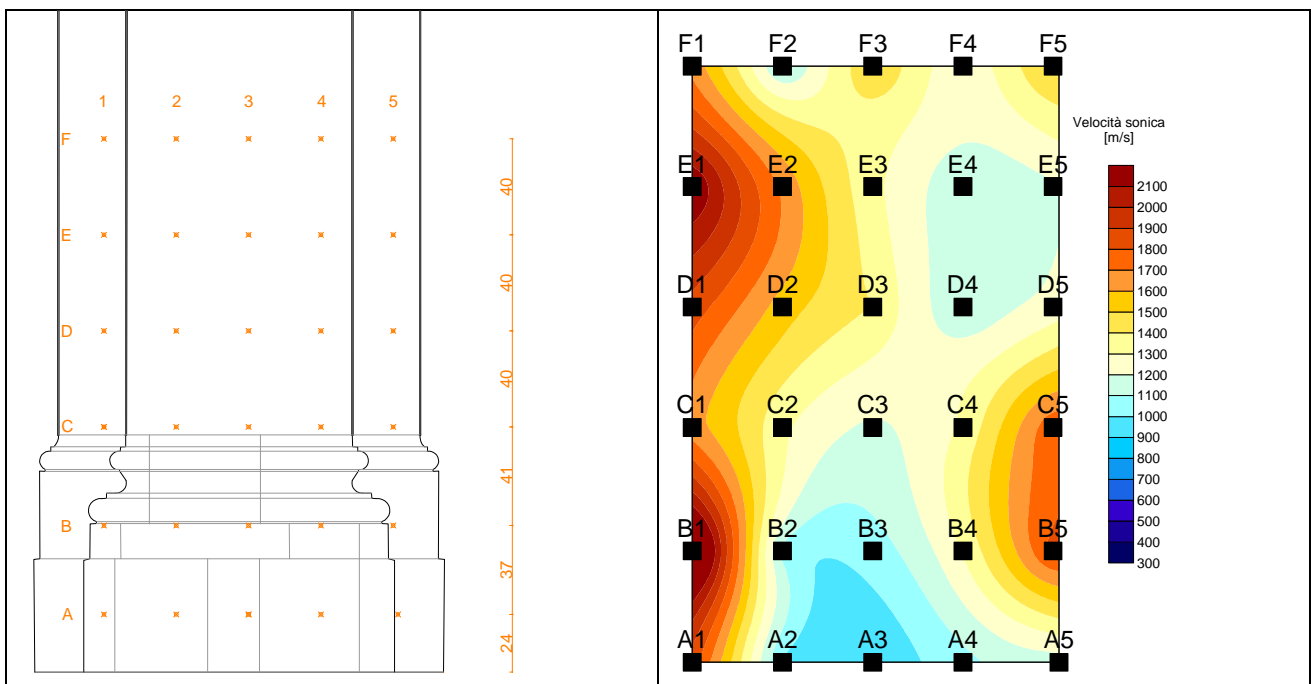


Tabella 11 – Scheda riassuntiva 3: Prova sonica per trasparenza SB-B-S1-3.

Scheda 4

Prova:SB-B-S2-4

Schemi di prova	Risultati	
	Velocità media	1276.2 m/s
	Deviazione standard	373.5 m/s
	Velocità media livello A	1076.5 m/s
	Velocità media livello B	1026.0 m/s
	Velocità media livello C	1306.0 m/s
	Velocità media livello D	1502.8 m/s
	Velocità media livello E	1446.6 m/s
	Velocità media livello F	1299.4 m/s

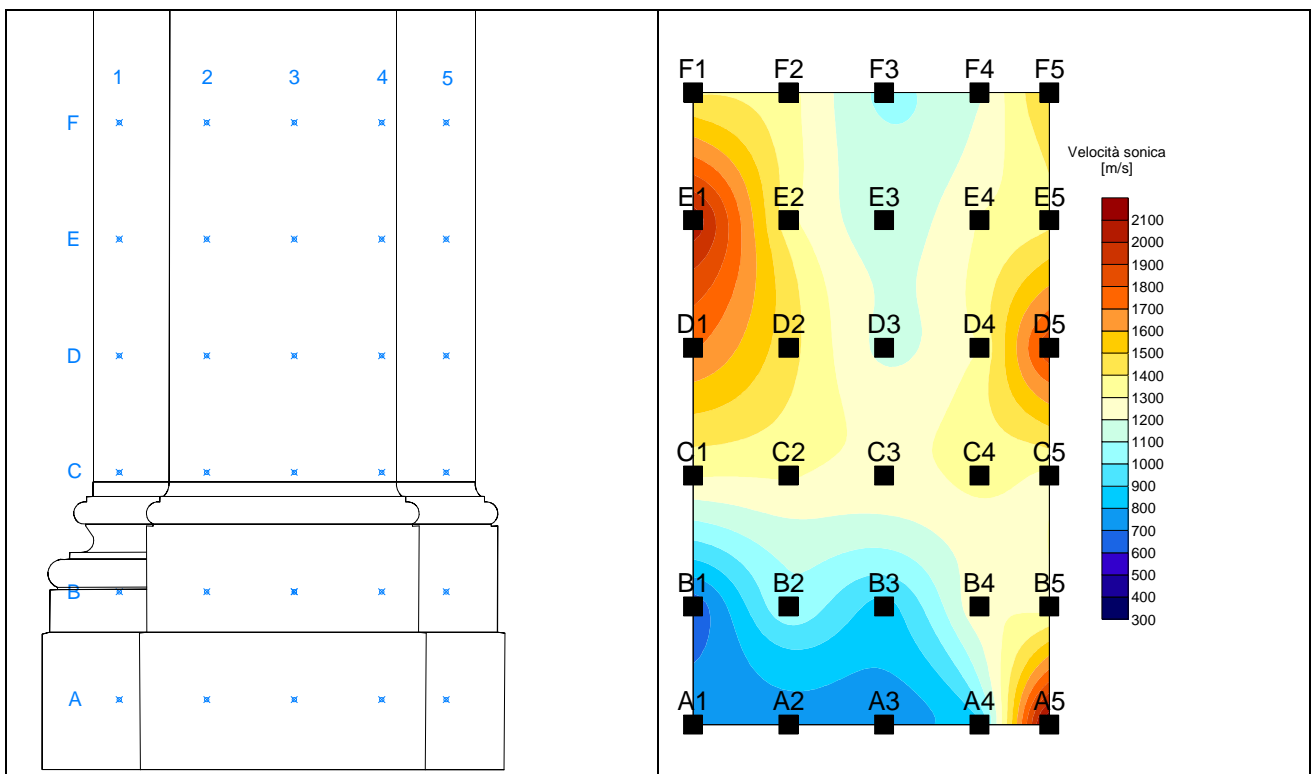


Tabella 12 – Scheda riassuntiva 4: Prova sonora per trasparenza SB-B-S2-4.

Scheda 5

Prova: media tra i valori delle traiettorie ortogonali SB-B-S1-3 e SB-B-S2-4 – livelli A, B, C, D, E, F

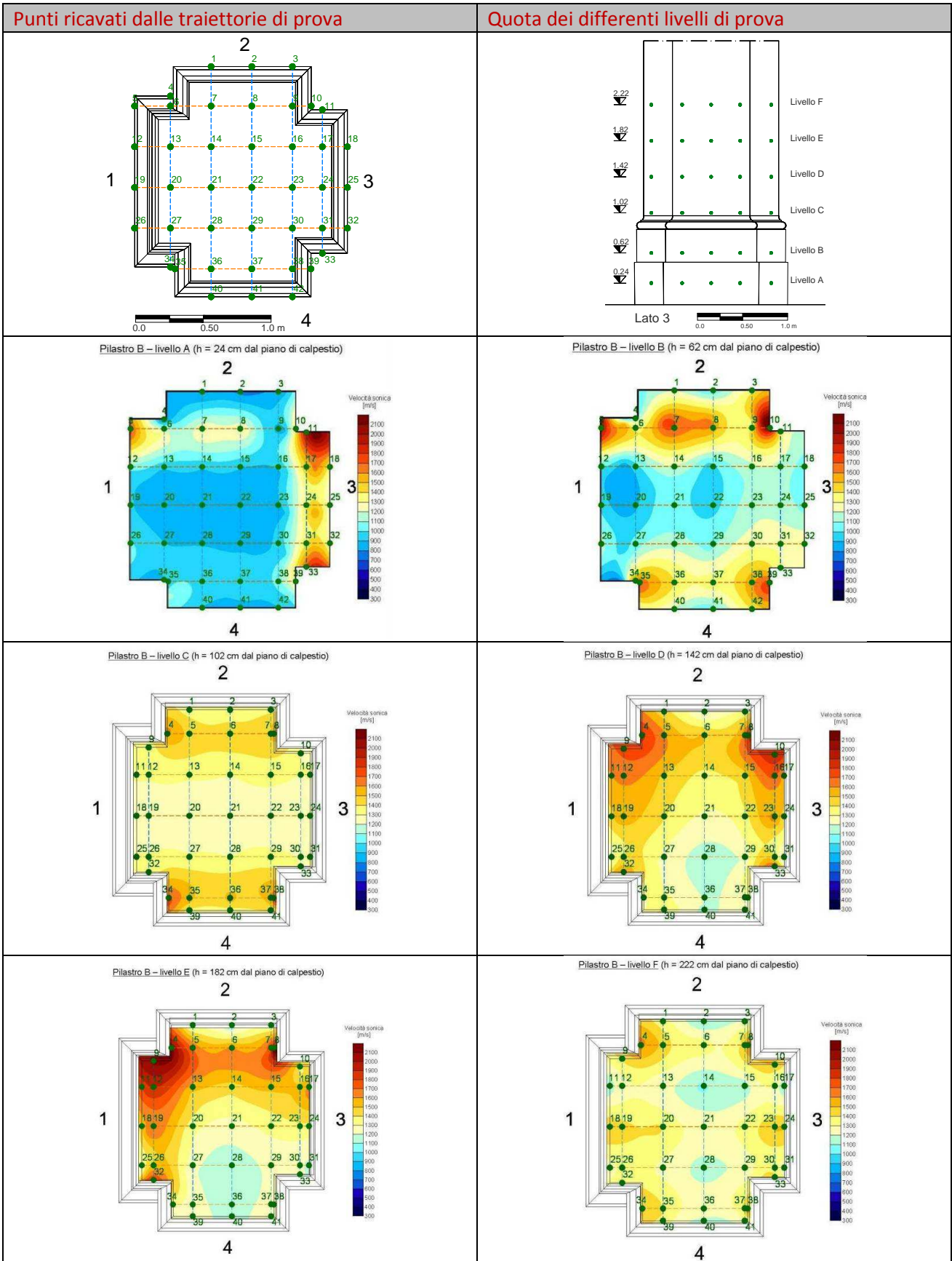


Tabella 13 – Scheda riassuntiva 5: Media delle velocità tra le traiettorie delle prove SB-B-S1-3 e SB-B-S2-4.

Allegato 8: Prove soniche sul pilastro C

Scheda 6

Prova: SB-C-S1-3

Schemi di prova	Risultati	
	Velocità media	1295.2 m/s
	Deviazione standard	421.2 m/s
	Velocità media livello A	945.2 m/s
	Velocità media livello B	1047.2 m/s
	Velocità media livello C	1457.5 m/s
	Velocità media livello D	1432.1 m/s
	Velocità media livello E	1600.0 m/s
	Velocità media livello F	1289.4 m/s

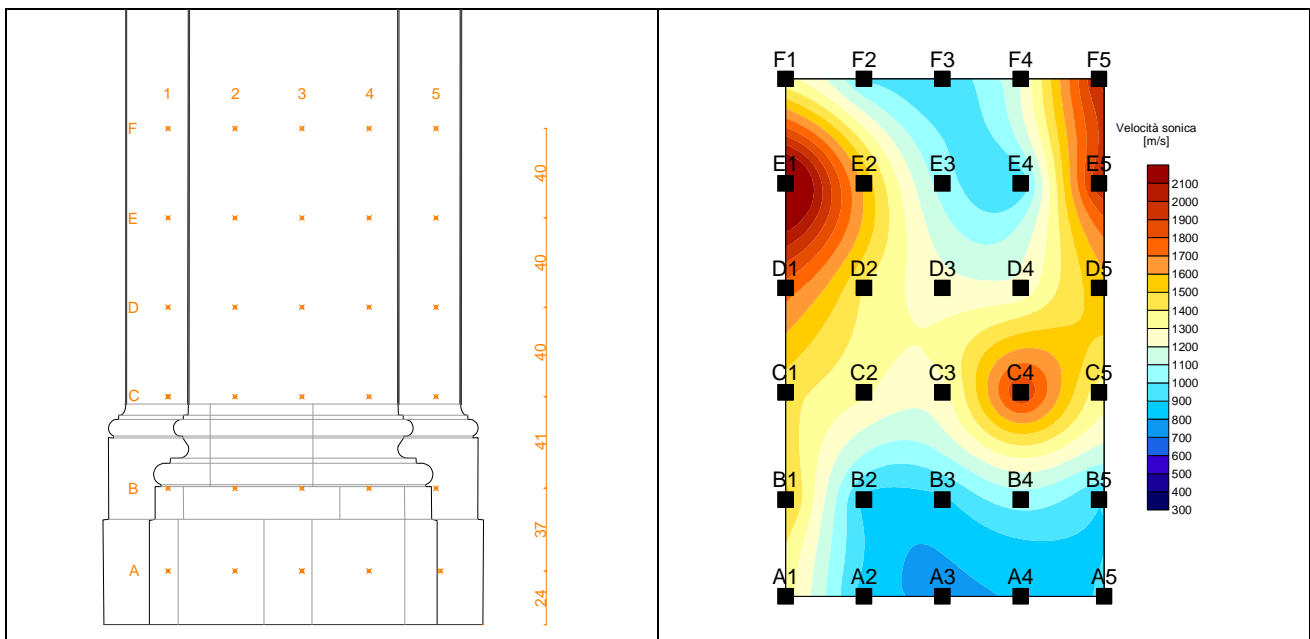


Tabella 14 – Scheda riassuntiva 6: Prova sonica per trasparenza SB-C-S1-3.

Scheda 7

Prova:SB-C-S2-4

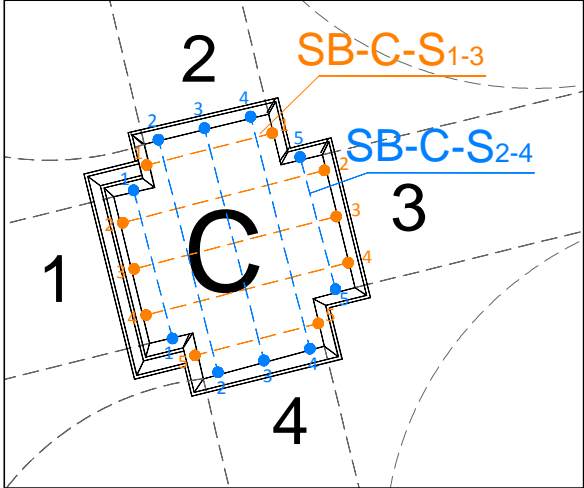
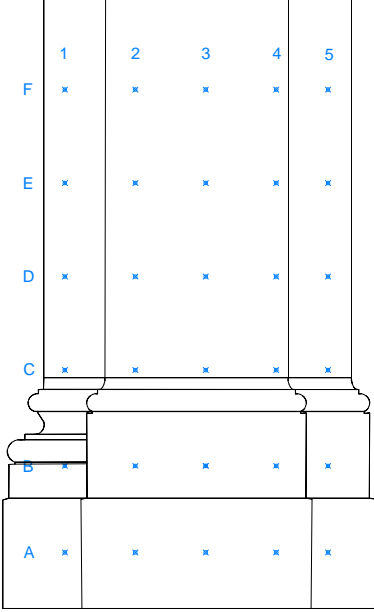
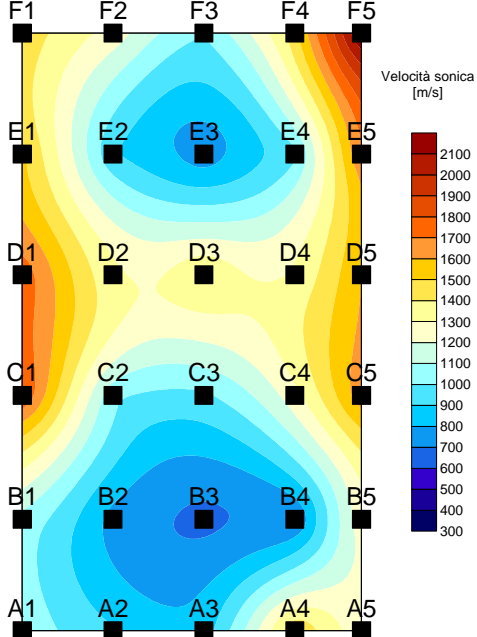
Schemi di prova	Risultati	
	Velocità media	1248.5 m/s
	Deviazione standard	378.0 m/s
	Velocità media livello A	1114.4 m/s
	Velocità media livello B	893.8 m/s
	Velocità media livello C	1348.3 m/s
	Velocità media livello D	1482.3 m/s
	Velocità media livello E	1166.9 m/s
	Velocità media livello F	1485.2 m/s
		

Tabella 15 – Scheda Riassuntiva 7: Prova sonora per trasparenza SB-C-S2-4.

Scheda 8

Prova: media tra i valori delle traiettorie ortogonali SB-C-S1-3 e SB-C-S2-4 – livelli A e B

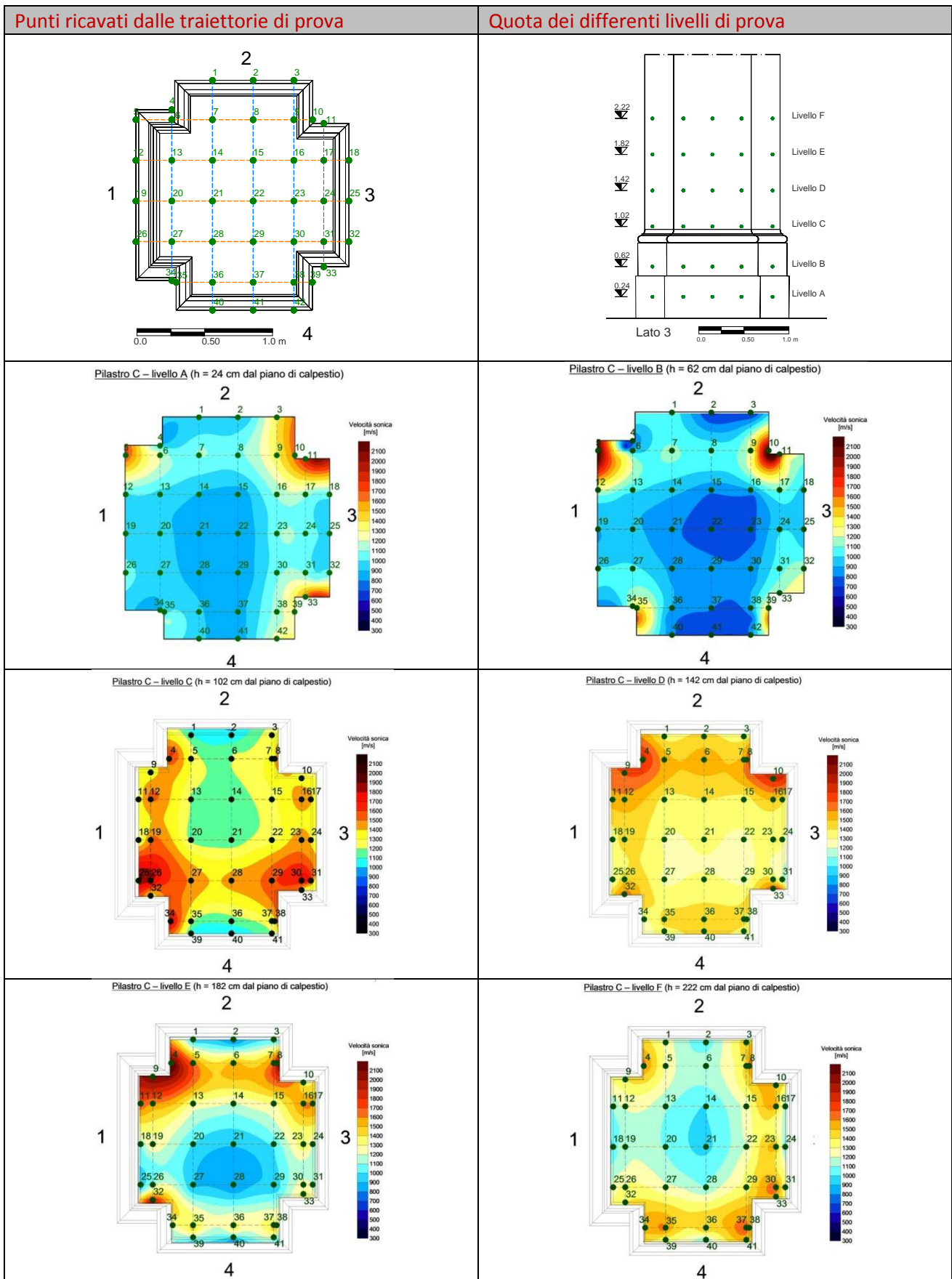


Tabella 16 – Scheda riassuntiva 8: Media dei valori delle prove soniche SB-C-S1-3 e SB-C-S2-4.

Allegato 9: Prove soniche sul pilastro D

Scheda 9

Prova: SB-D-S1-3

Schemi di prova		Risultati	
		Velocità media	1471.8 m/s
		Deviazione standard	589.4 m/s
		Velocità media livello A	1695.8 m/s
		Velocità media livello B	2082.9 m/s
		Velocità media livello C	1706.3 m/s
		Velocità media livello D	1073.0 m/s
		Velocità media livello E	802.3 m/s
		Velocità media livello F	1470.8 m/s

--	--

Tabella 17 – Scheda riassuntiva 9: Prove soniche per trasparenza SB-D-S1-3.

Scheda 10

Prova:SB-D-S2-4

Schemi di prova	Risultati	
	Velocità media	980.3 m/s
	Deviazione standard	401.2 m/s
	Velocità media livello A	1139.3 m/s
	Velocità media livello B	1341.8 m/s
	Velocità media livello C	1011.4 m/s
	Velocità media livello D	796.7 m/s
	Velocità media livello E	636.9 m/s
	Velocità media livello F	955.5 m/s

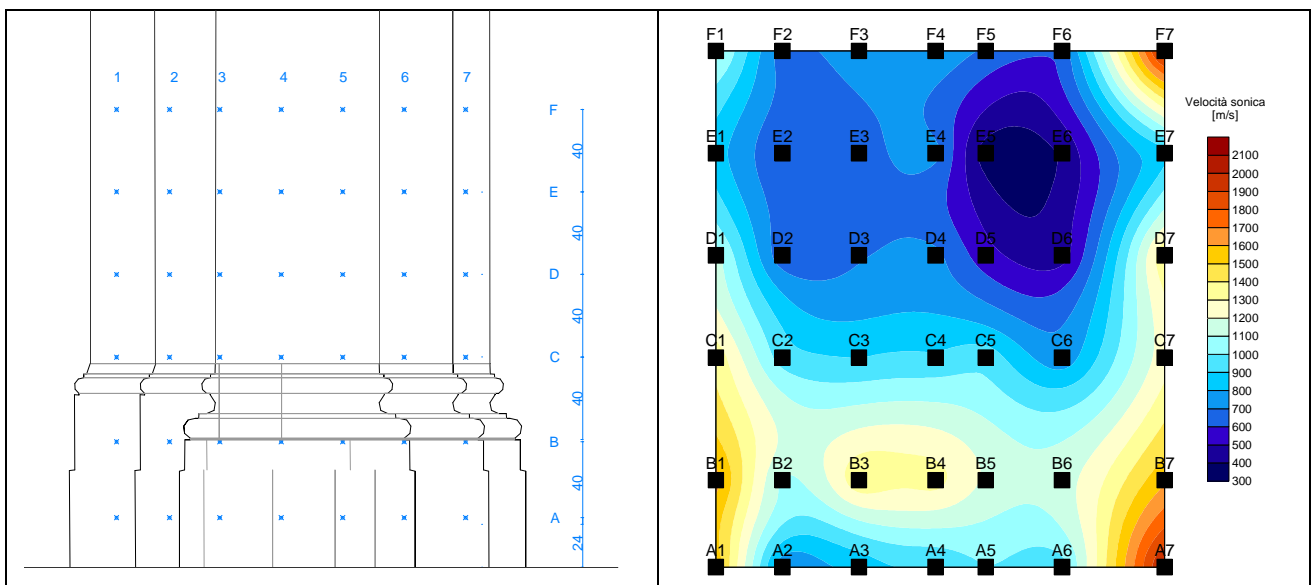


Tabella 18 – Scheda riassuntiva 10: Prove soniche per trasparenza SB-D-S2-4.

Scheda 11

Prova: media tra i valori delle traiettorie ortogonali SB-D-S1-3 e SB-D-S2-4 – livelli A, B, C, D, E

Punti ricavati dalle traiettorie di prova	Quota dei differenti livelli di prova
<p>Pilastro D – livello A (h = 24 cm dal piano di calpestio)</p>	<p>Pilastro D – livello B (h = 61 cm dal piano di calpestio)</p>
<p>Pilastro D – livello C (h = 102 cm dal piano di calpestio)</p>	<p>Pilastro D – livello D (h = 142 cm dal piano di calpestio)</p>
<p>Pilastro D – livello E (h = 182 cm dal piano di calpestio)</p>	<p>Pilastro D – livello F (h = 222 cm dal piano di calpestio)</p>

Tabella 19 – Scheda riassuntiva 11: Media dei valori delle prove soniche per trasparenza SB-D-S1-3 e SB-D-S2-4.

Allegato 10: Prove soniche sul pilastro E

Scheda 12

Prova: SB-E-S1-3

Schemi di prova	Risultati	
	Velocità media	1161.6 m/s
	Deviazione standard	318.4 m/s
	Velocità media livello A	1104.9 m/s
	Velocità media livello B	1406.3 m/s
	Velocità media livello C	1431.0 m/s
	Velocità media livello D	1125.7 m/s
	Velocità media livello E	1031.1 m/s
	Velocità media livello F	870.7 m/s

Tabella 20 – Scheda riassuntiva 12: prova sonora per trasparenza SB-E-S1-3.

Allegato 11: Prove soniche sul pilastro F

Scheda 13

Prova: SB-F-S1-3

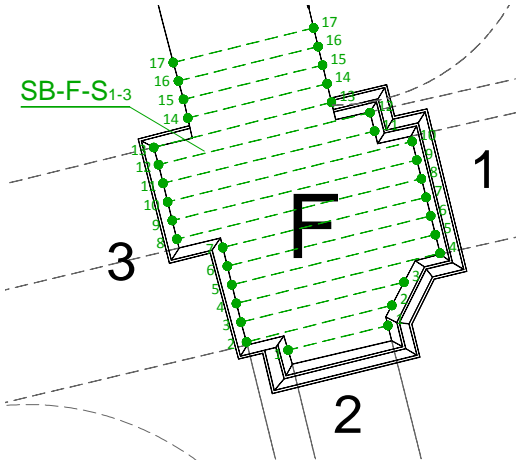
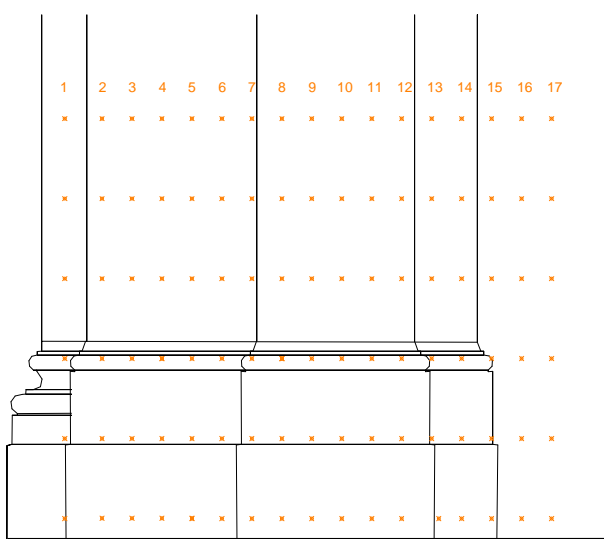
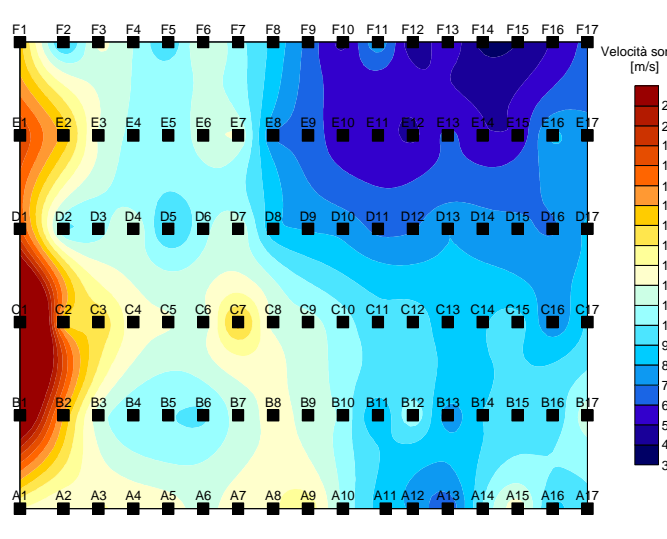
Schemi di prova	Risultati																
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;">Velocità media</td> <td style="padding: 5px; text-align: right;">1018.7 m/s</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Deviazione standard</td> <td style="padding: 5px; text-align: right;">427.7 m/s</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Velocità media livello A</td> <td style="padding: 5px; text-align: right;">1110.6 m/s</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Velocità media livello B</td> <td style="padding: 5px; text-align: right;">1140.4 m/s</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Velocità media livello C</td> <td style="padding: 5px; text-align: right;">1247.8 m/s</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Velocità media livello D</td> <td style="padding: 5px; text-align: right;">921.8 m/s</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Velocità media livello E</td> <td style="padding: 5px; text-align: right;">893.6 m/s</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Velocità media livello F</td> <td style="padding: 5px; text-align: right;">798.0 m/s</td> </tr> </table>	Velocità media	1018.7 m/s	Deviazione standard	427.7 m/s	Velocità media livello A	1110.6 m/s	Velocità media livello B	1140.4 m/s	Velocità media livello C	1247.8 m/s	Velocità media livello D	921.8 m/s	Velocità media livello E	893.6 m/s	Velocità media livello F	798.0 m/s
Velocità media	1018.7 m/s																
Deviazione standard	427.7 m/s																
Velocità media livello A	1110.6 m/s																
Velocità media livello B	1140.4 m/s																
Velocità media livello C	1247.8 m/s																
Velocità media livello D	921.8 m/s																
Velocità media livello E	893.6 m/s																
Velocità media livello F	798.0 m/s																
																	

Tabella 21 – Scheda riassuntiva 13: prova sonica per trasparenza SB-F-S1-3.

Allegato 12: Prove soniche sul pilastro G

Scheda 14

Prova: SB-G-S1-3

Schemi di prova	Risultati	
	Velocità media	1488.3 m/s
	Deviazione standard	606.2 m/s
	Velocità media livello A	1619.4 m/s
	Velocità media livello B	1552.1 m/s
	Velocità media livello C	1639.0 m/s
	Velocità media livello D	1506.5 m/s
	Velocità media livello E	1357.5 m/s
	Velocità media livello F	1255.4 m/s

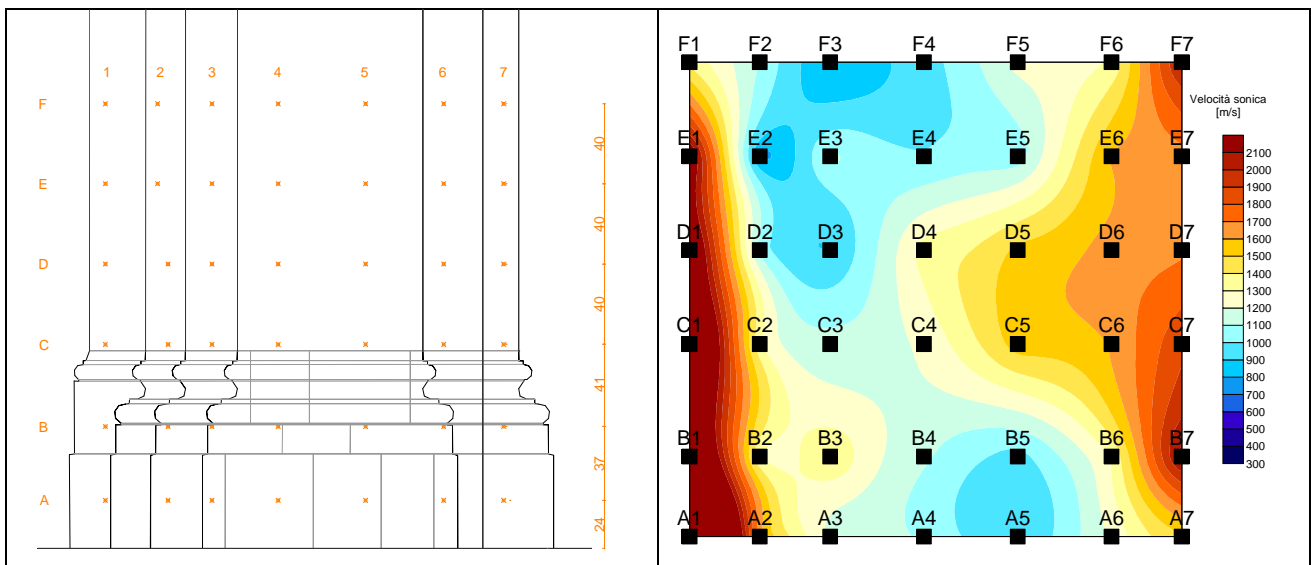


Tabella 22 – Scheda riassuntiva 14: prova sonica per trasparenza SB-G-S1-3.

Scheda 15

Prova:SB-G-S2-4

Schemi di prova	Risultati	
	Velocità media	1441.5 m/s
	Deviazione standard	509.3 m/s
	Velocità media livello A	1101.7 m/s
	Velocità media livello B	1218.5 m/s
	Velocità media livello C	1468.1 m/s
	Velocità media livello D	1749.6 m/s
	Velocità media livello E	1517.2 m/s
	Velocità media livello F	1594.0 m/s

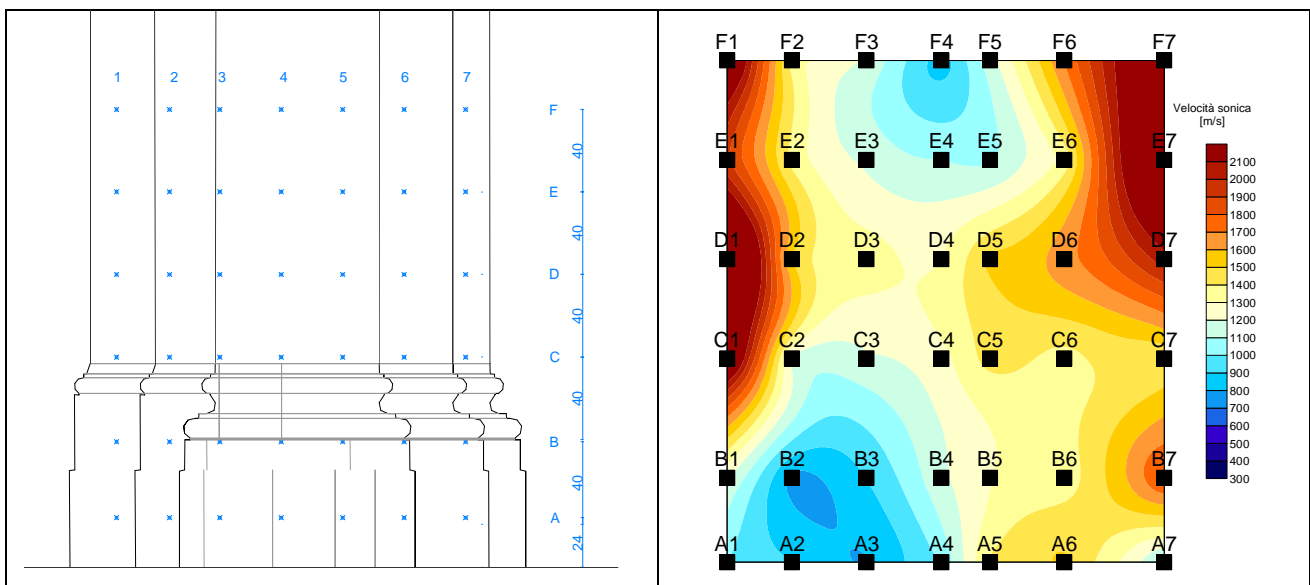


Tabella 23 – Scheda riassuntiva 15: prova sonora per trasparenza SB-G-S2-4.

Scheda 16

Prova: media tra i valori delle traiettorie ortogonali SB-G-S1-3 e SB-G-S2-4 – livelli A, B, C, D, E

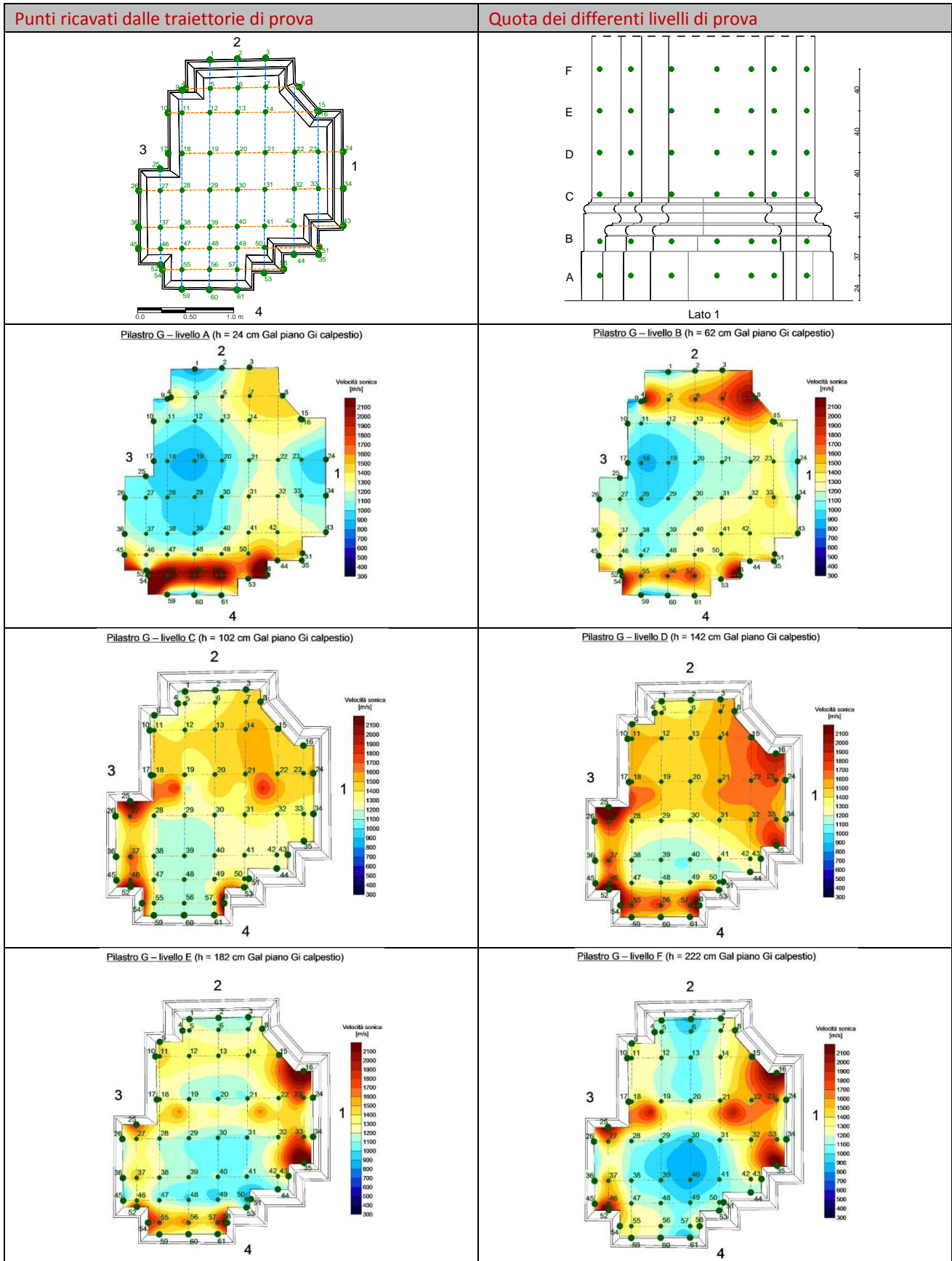


Tabella 24 – Scheda riassuntiva 16: medie delle prove soniche SB-G-S1-3 e SB-G-S2-4.

Allegato 13: Prove con martinetto piatto singolo SB-J3S sul pilastro G

Fase di prova	Sforzo (N/mm ²)	Base 1 (mm)	Base 2 (mm)	Base 3 (mm)	Base 4 (mm)
prima del taglio	0	0	0	0	0
dopo il Taglio	0	23	43	34	28
con martinetto	0	30	37	32	26
CICLO 1	0.078	28	35	27	17
	0.156	23	27	23	13
	0.234	23	26	19	12
	0.312	14	22	16	8
	0.39	12	17	8	2
	0.468	9	11	5	2
	0.546	3	7	2	-3
Ripristino	0.624	0	4	-3	-5
Scarico ciclo 1	0.468	7	12	5	2
	0.312	17	18	13	8
	0.156	23	26	20	12
	0	28	29	23	15
CICLO 2	0	30	35	25	19
	0.078	29	33	25	15
	0.156	23	25	19	10
	0.234	18	24	17	8
	0.312	18	20	13	10
	0.39	14	15	9	7
	0.468	11	12	5	0
	0.546	3	4	-4	-5
RIPRISTINO	0.624	-1	-1	-5	-2
Scarico ciclo 2	0.468	8	10	2	2
	0.312	12	16	10	7
	0.156	26	23	19	17
	0	32	34	28	22

Tabella 25 – Valori ottenuti dalla prova SB-J3S.

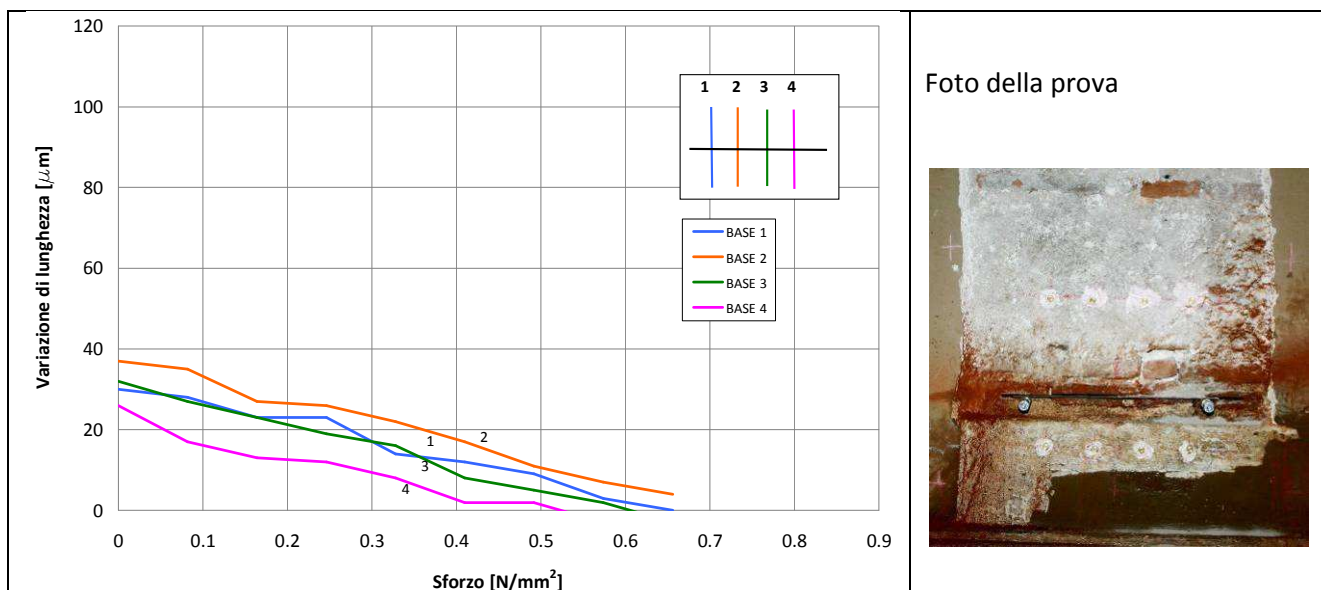


Grafico 9 – Andamento della distanza tra le basi di misura in funzione dello sforzo applicato.

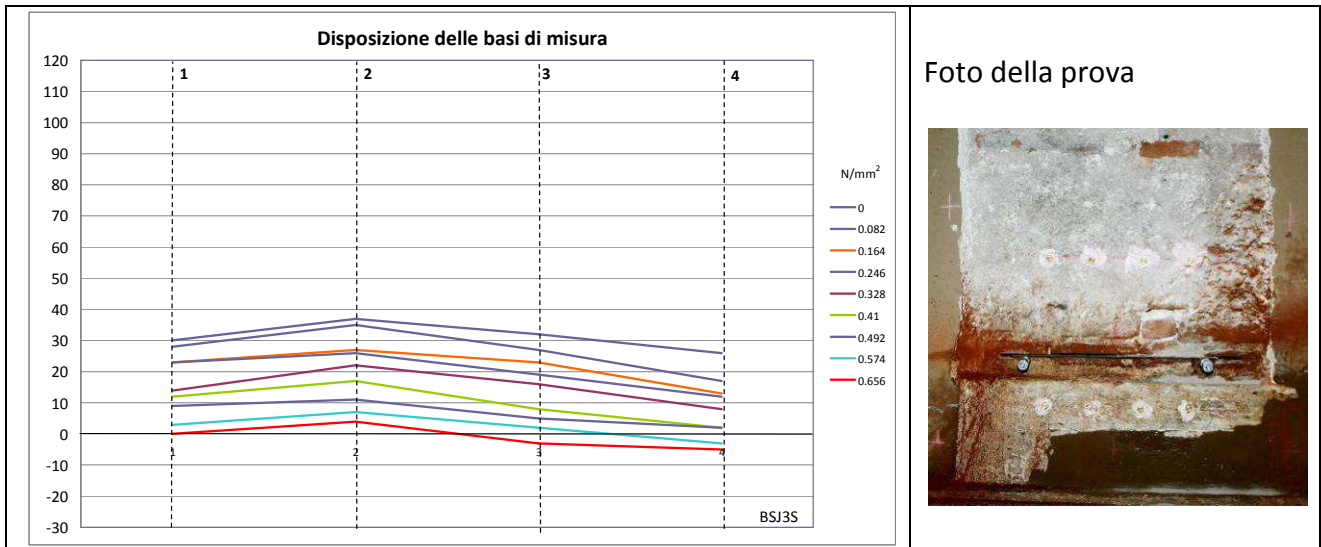


Grafico 10 – Andamento della distanza tra le basi di misura in funzione dello sforzo applicato.

Base n.	Sforzo (N/mm ²)
1	0.62
2	0.62
3	0.58
4	0.50
Sforzo medio	0.58

Tabella 26 – Valori di ripristino calcolati con la prova SB-J3S.

Allegato 14: Prove soniche sul pilastro H

Scheda 17

Prova: SB-H-S1-3

Schemi di prova	Risultati	
	Velocità media	1316.0 m/s
	Deviazione standard	325.5 m/s
	Velocità media livello A	1373.8 m/s
	Velocità media livello B	1426.4 m/s
	Velocità media livello C	1334.4 m/s
	Velocità media livello D	1102.7 m/s
	Velocità media livello E	1332.2 m/s
	Velocità media livello F	1326.6 m/s

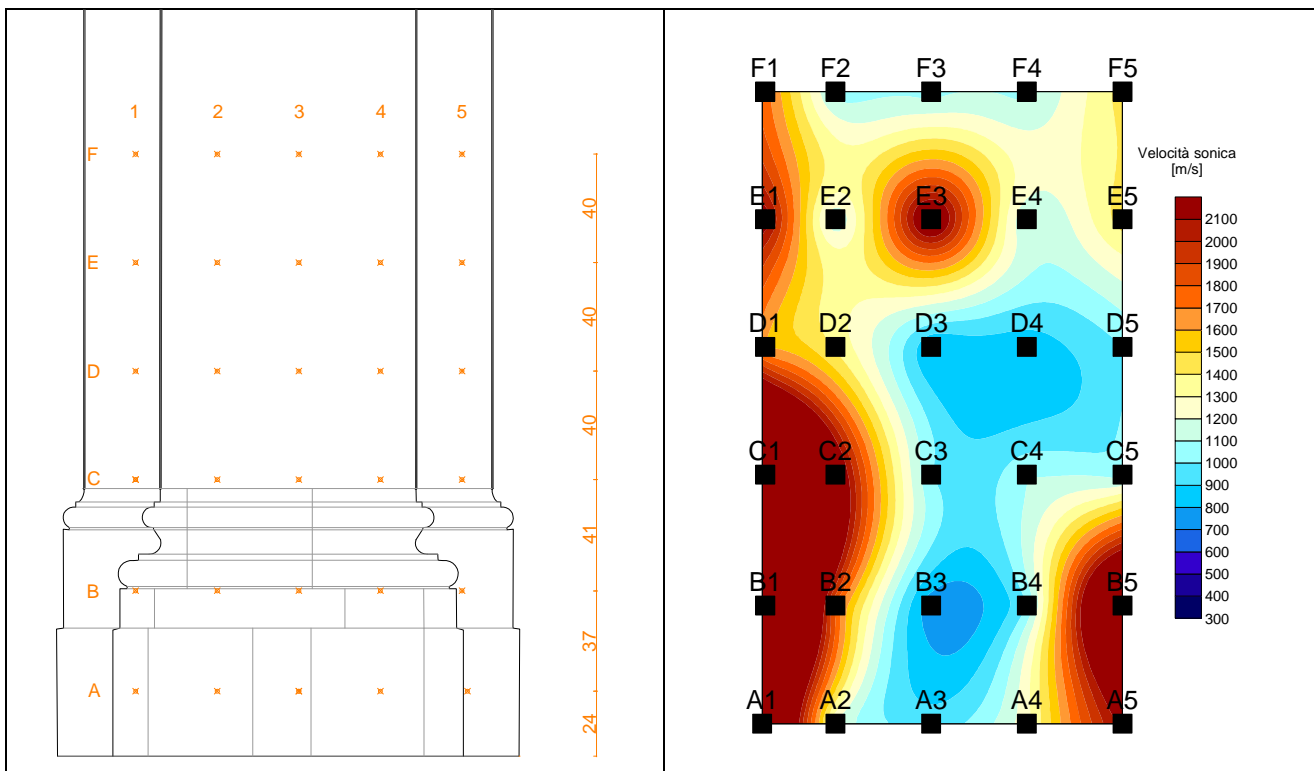


Tabella 27 – Scheda riassuntiva 17: prova sonora per trasparenza SB-H-S1-3.

Scheda 18

Prova:SB-H-S2-4

Schemi di prova	Risultati	
	Velocità media	1617.3 m/s
	Deviazione standard	876.0 m/s
	Velocità media livello A	1701.2 m/s
	Velocità media livello B	2101.6 m/s
	Velocità media livello C	1858.9 m/s
	Velocità media livello D	1119.7 m/s
	Velocità media livello E	1648.7 m/s
	Velocità media livello F	1273.8 m/s

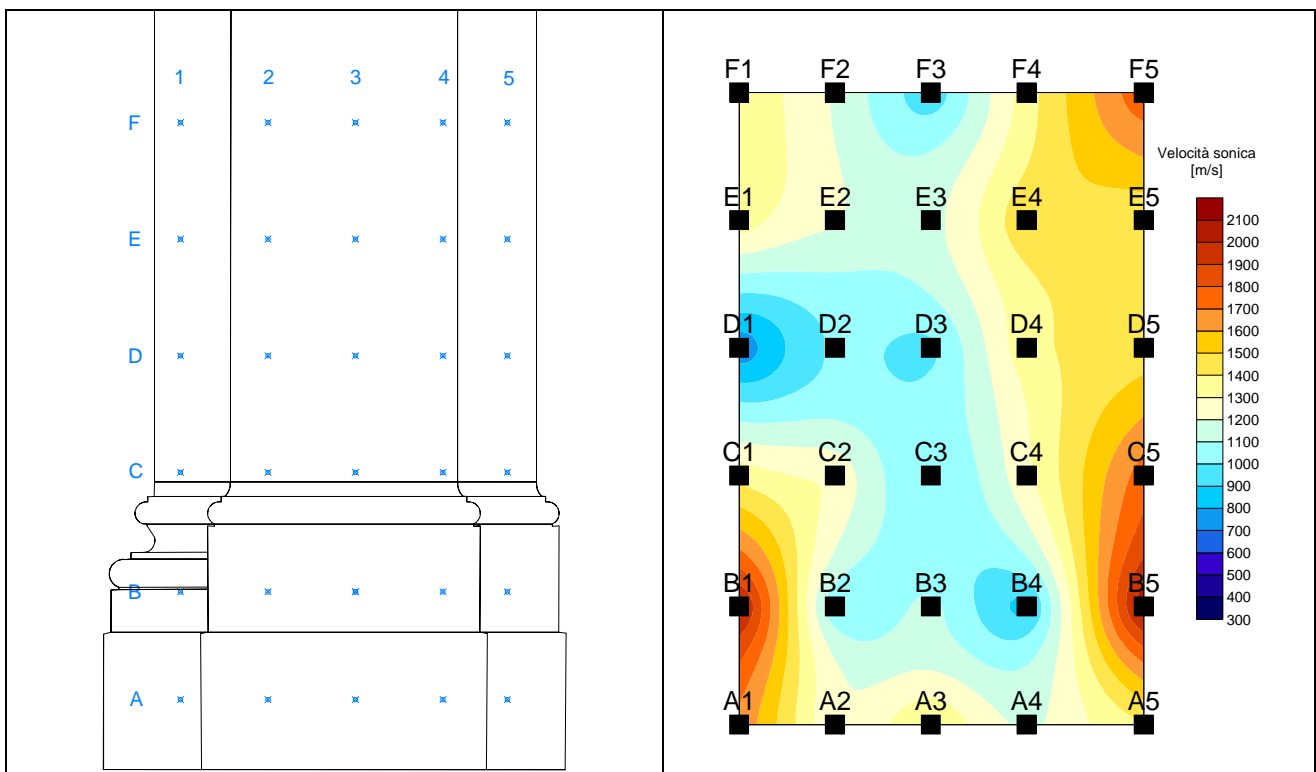


Tabella 28 – Scheda riassuntiva 18: Prova sonica di trasparenza SB-H-S2-4.

Scheda 19

Prova: media tra i valori delle traiettorie ortogonali SB-H-S1-3 e SB-H-S2-4

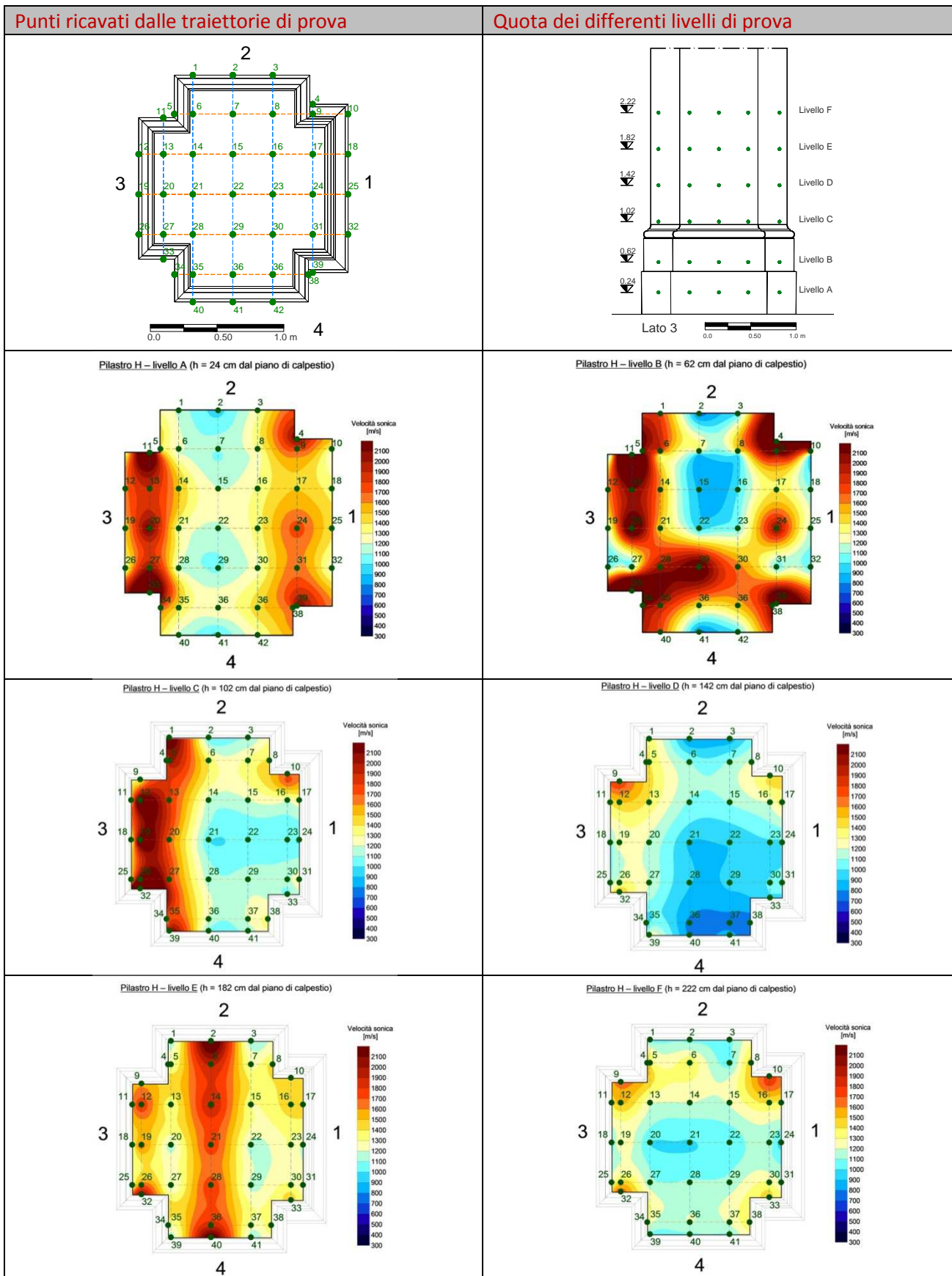


Tabella 29 – Scheda riassuntiva 19: Media dei valori sonici ottenuti con le prove di trasparenza SB-H-S1-3 e SB-H-S2-4.

Allegato 15: Prove con martinetto piatto singolo SB-J4S sul pilastro H

Fase di prova	Sforzo (N/mm ²)	Base 1 (mm)	Base 2 (mm)	Base 3 (mm)	Base 4 (mm)
prima del taglio	0	0	0	0	0
dopo il Taglio	0	36	103	98	47
con martinetto	0	53	95	113	57
CICLO 1	0.078	50	93	99	52
	0.156	40	91	80	41
	0.234	37	81	74	39
	0.312	30	66	58	30
	0.39	28	55	41	24
	0.468	25	49	29	15
	0.546	19	40	10	9
	0.624	12	29	-4	0
	0.702	8	19	-10	-5
Ripristino	0.78	3	7	-24	-11
Scarico ciclo 1	0.624	17	21	-9	3
	0.468	20	32	13	11
	0.312	25	40	36	23
	0.156	36	55	63	34
	0	48	64	96	44
CICLO 2	0	50	69	100	47
	0.078	44	63	89	43
	0.156	36	56	72	38
	0.234	39	51	60	31
	0.312	29	44	42	25
	0.39	29	39	30	19
	0.468	25	33	19	16
	0.546	19	24	7	14
	0.624	13	14	-7	3
	0.702	10	12	-17	-2
RIPRISTINO	0.78	1	0	-36	-6
Scarico ciclo 2	0.624	11	13	-15	-3
	0.468	22	26	6	10
	0.312	29	34	33	24
	0.156	36	47	63	35
	0	47	60	95	49

Tabella 30 – Valori ottenuti dalla prova SB-J4S.

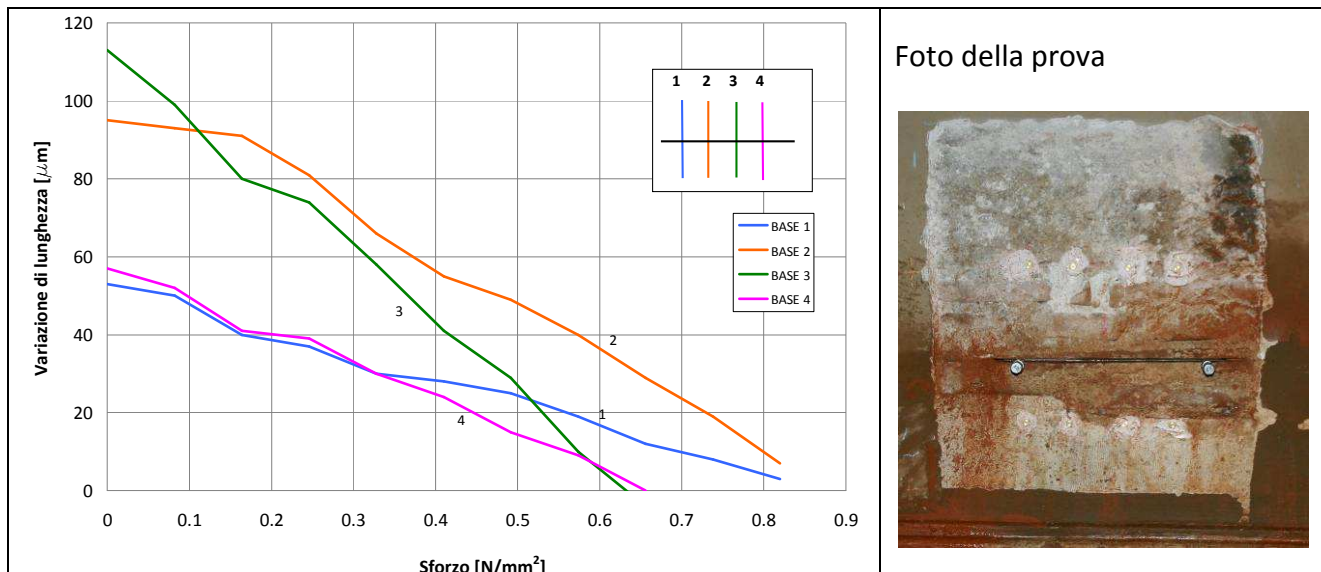


Grafico 11 – Andamento della distanza tra le basi di misura in funzione dello sforzo applicato.

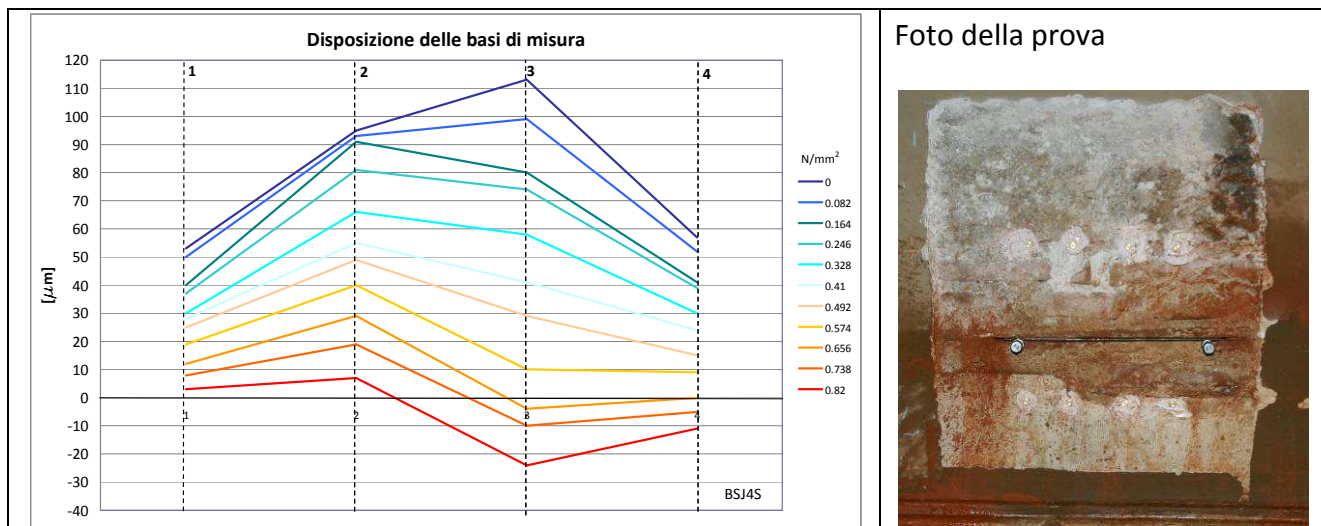


Grafico 12 – Andamento della distanza tra le basi di misura in funzione dello sforzo applicato.

Base n.	Sforzo (N/mm^2)
1	0.78
2	0.78
3	0.66
4	0.62
Sforzo medio	0.71

Tabella 31 – Valori di ripristino calcolati con la prova SB-J46.

Allegato 16: Prove soniche sul pilastro I

Scheda 20

Prova: SB-I-S1-3

Schemi di prova	Risultati	
	Velocità media	1711.9 m/s
	Deviazione standard	468.1 m/s
	Velocità media livello A	1897.8 m/s
	Velocità media livello B	1795.3 m/s
	Velocità media livello C	1725.9 m/s
	Velocità media livello D	1381.5 m/s
	Velocità media livello E	1712.6 m/s
	Velocità media livello F	1758.4 m/s

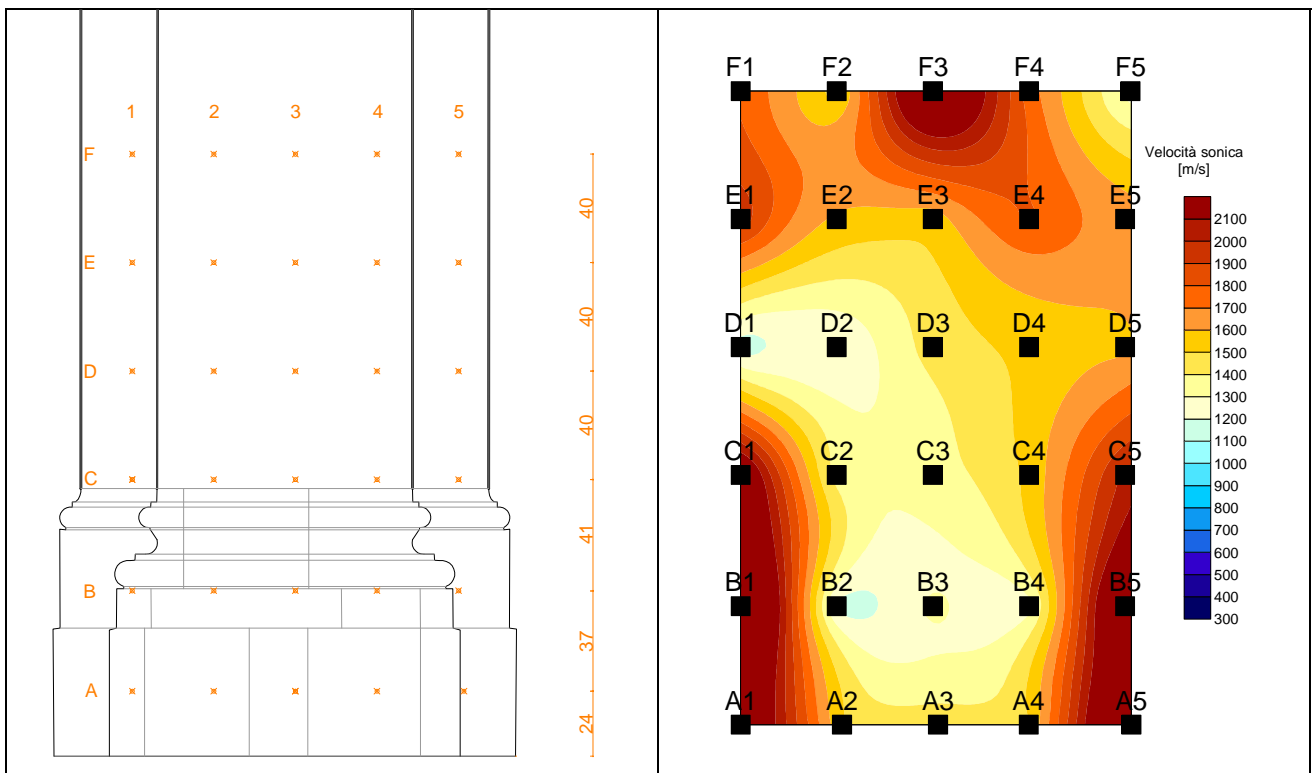


Tabella 32 – Scheda riassuntiva 20: prova sonica per trasparenza SB-I-S1-3.

Scheda 21

Prova:SB-I-S2-4

Schemi di prova	Risultati	
	Velocità media	1710.3 m/s
	Deviazione standard	623.7 m/s
	Velocità media livello A	1743.4 m/s
	Velocità media livello B	1676.8 m/s
	Velocità media livello C	1779.3 m/s
	Velocità media livello D	1617.6 m/s
	Velocità media livello E	2024.0 m/s
	Velocità media livello F	1420.6 m/s

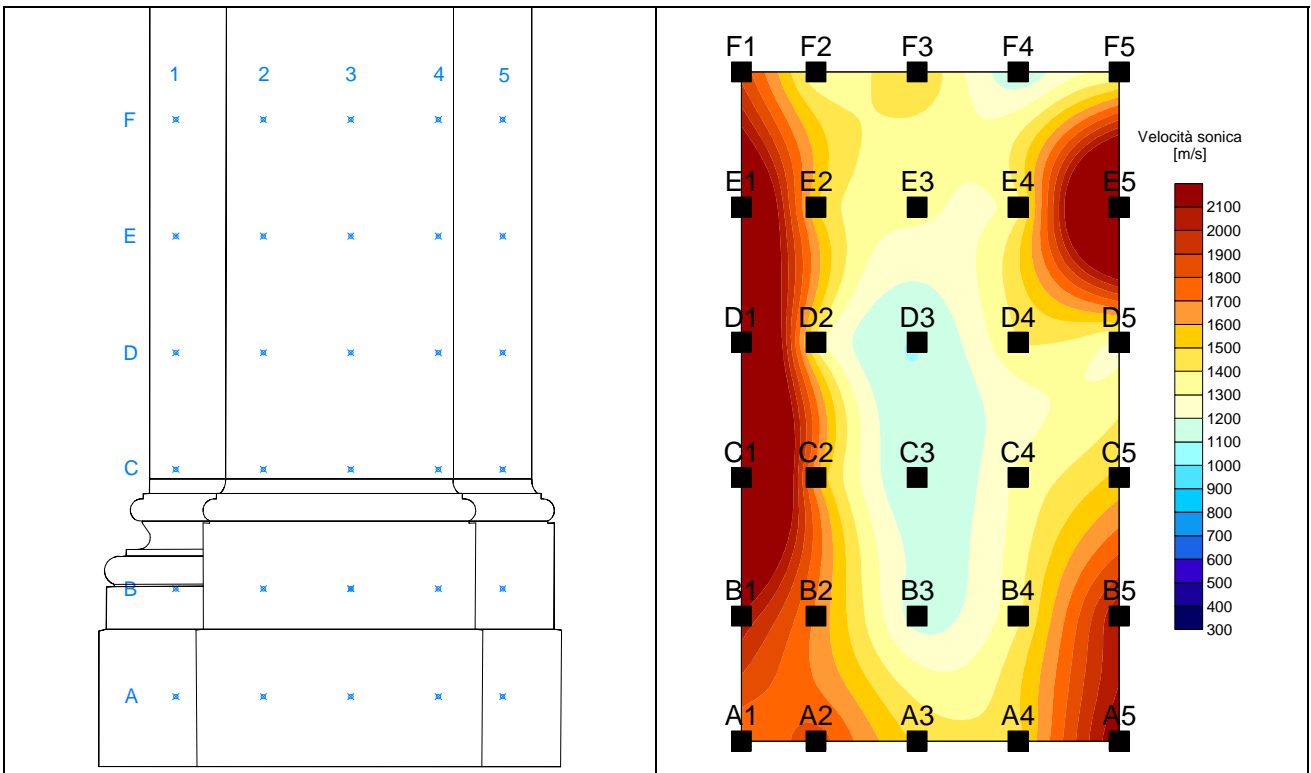


Tabella 33 – Scheda riassuntiva 21: prova sonora per trasparenza SB-I-S2-4.

Scheda 22

Prova: media tra i valori delle traiettorie ortogonali SB-I-S1-3 e SB-I-S2-4

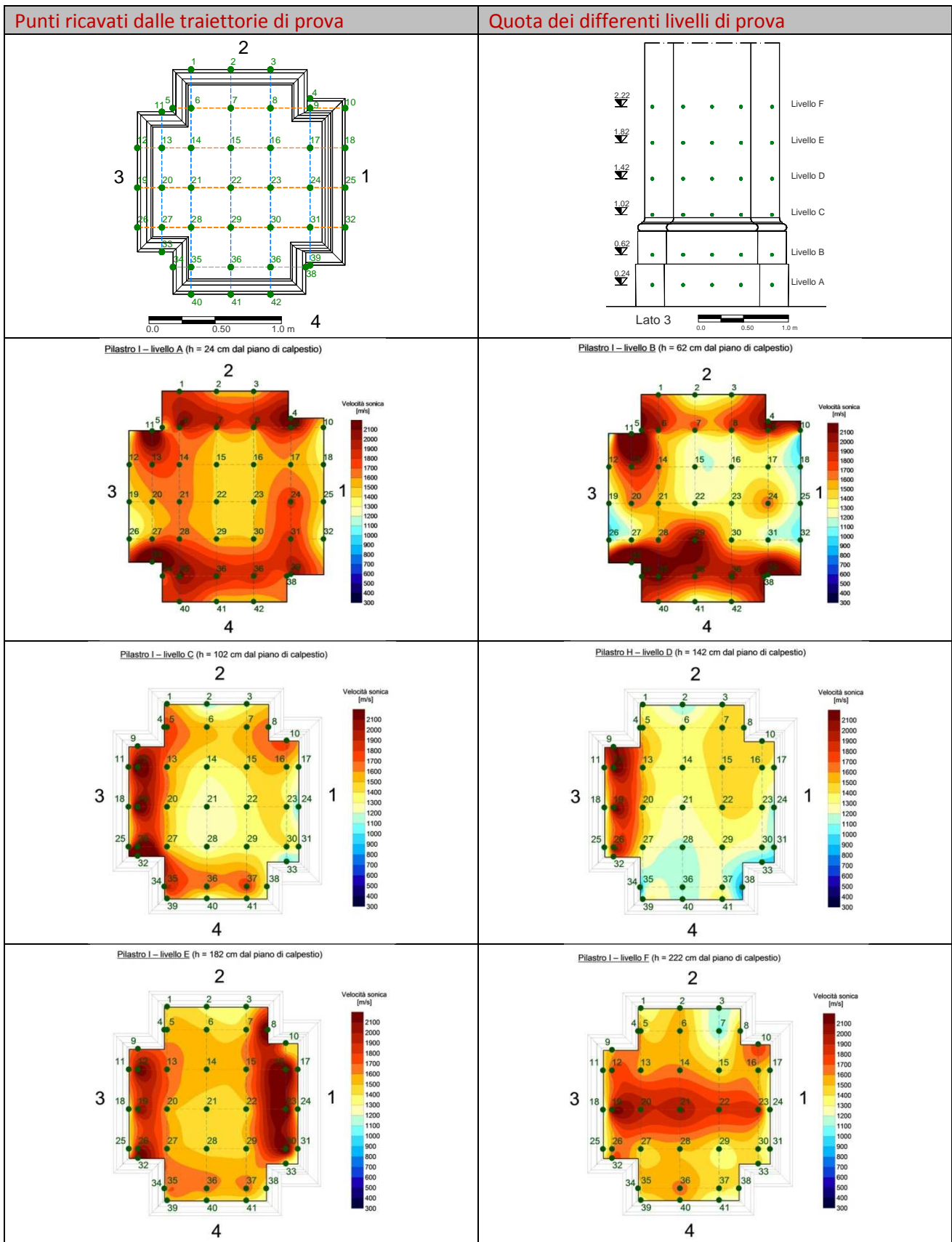


Tabella 34 – Scheda riassuntiva 22: Medie dei valori ottenuti dalle prove soniche per trasparenza SB-I-S1-3 e SB-I-S2-4.

Allegato 17: Prova sonica OSG-S05

Prova OSG-S05		Data: 18/05/2010	
Punto di prova	Spessore (m)	Tempo (s)	Velocità (m/s)
1	1.09	0.002080	521.6
2	1.09	0.001884	575.9
3	1.09	0.002740	396.0
4	1.09	0.002044	530.8
5	1.09	0.001779	609.9
6	1.09	0.001852	585.9
7	1.09	0.001435	756.1
8	1.09	0.001474	736.1
9	1.09	0.001879	577.4
10	1.09	0.001826	594.2
11	1.09	0.001602	677.3
12	1.09	0.001989	545.5
13	1.09	0.002035	533.2
14	1.09	0.002062	526.2
15	1.09	0.001994	544.1
16	1.09	0.001533	707.8
17	1.09	0.001674	648.1
18	1.09	0.001690	642.0
19	1.09	0.001540	704.5
20	1.09	0.001630	665.6
21	1.09	0.001614	672.2
22	1.09	0.001090	995.4
23	1.09	0.001205	900.4
24	1.09	0.001690	639.0

Tabella 35 – Prova sonica OSG-S05. Risultati ottenuti per ogni punto di prova.

Scheda 23

Prova SB-SO5	Tipo di prova: indagini soniche per trasparenza	
Luogo: L'Aquila	Cantiere: Chiesa di S. Biagio	Data: 18/05/2010

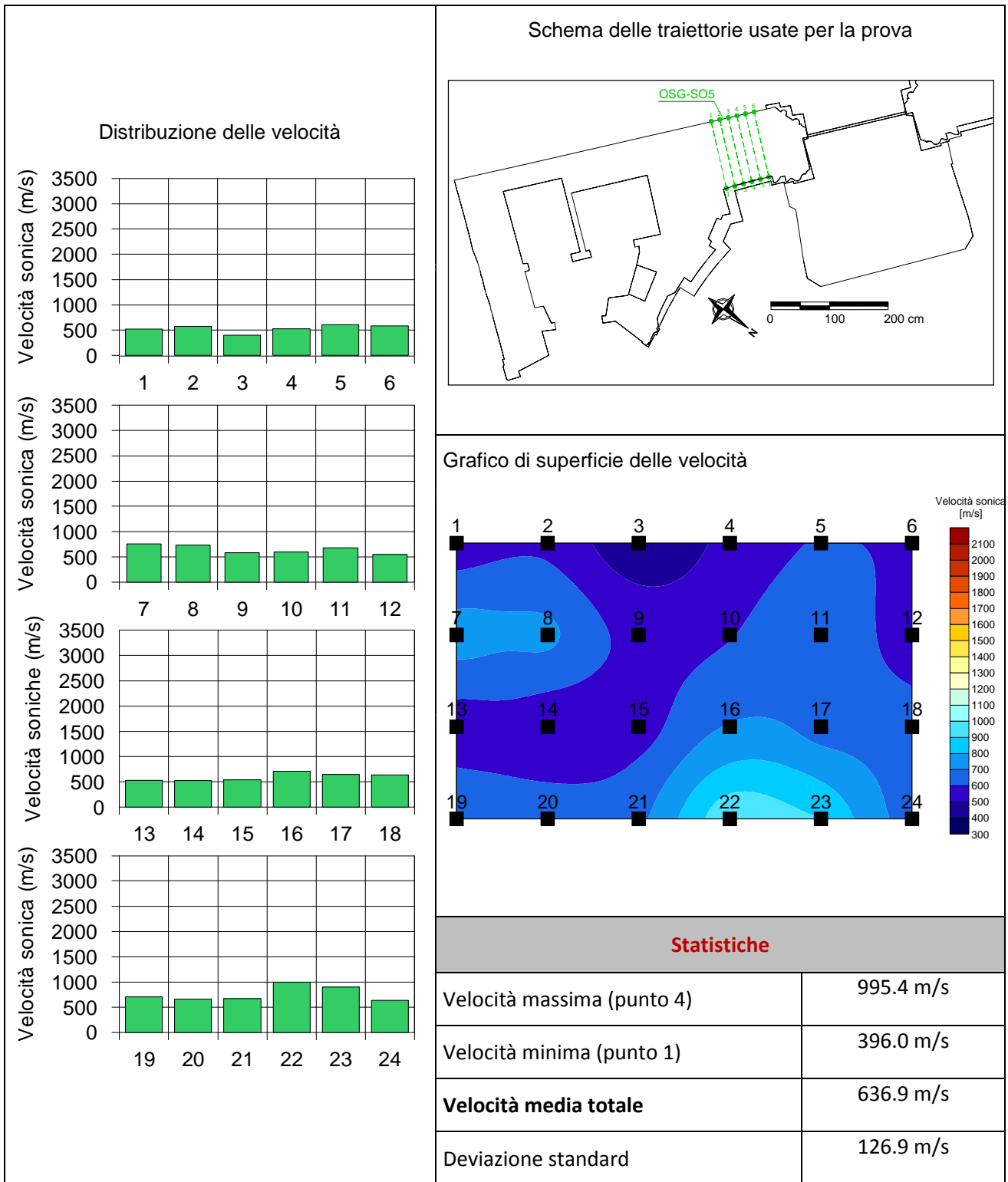


Tabella 36 – Scheda riassuntiva 23: Prova sonica per trasparenza OSG-SO5.

Allegato 18: Prova sonica OSG-SO2

Prova OSG-SO2		Data: 17/05/2010	
Punto di prova	Spessore (m)	Tempo (s)	Velocità (m/s)
1	0.63	0.000496	1270.2
2	0.63	0.000670	940.3
3	0.63	0.000363	1735.5
4	0.63	0.000634	993.7
5	0.63	0.000428	1472.0
6	0.63	0.000632	996.8
7	0.63	0.000444	1418.9
8	0.63	0.000682	923.8
9	0.63	0.000489	1288.3
10	0.63	0.000492	1280.5
11	0.63	0.000580	1086.2
12	0.63	0.000715	881.1
13	0.63	0.000428	1472.0
14	0.63	0.000485	1299.0
15	0.63	0.000421	1496.4
16	0.63	0.000440	1431.8
17	0.63	0.000458	1375.5
18	0.63	0.000618	1019.4
19	0.63	0.000343	1836.7
20	0.63	0.000349	1805.2
21	0.63	0.000543	1160.2
22	0.63	0.000420	1500.0
23	0.63	0.000403	1563.3
24	0.63	0.000566	1113.1
25	0.63	0.000530	1188.7
26	0.63	0.000388	1623.7
27	0.63	0.000515	1223.3
28	0.63	0.000610	1032.8
29	0.63	0.000612	1029.4
30	0.63	0.000547	1151.7
31	0.63	0.000413	1525.4
32	0.63	0.000545	1156.0
33	0.63	0.000636	990.6
34	0.63	0.000626	1006.4
35	0.63	0.000614	1026.1
36	0.63	0.000658	957.4

Tabella 37 – Prova sonica OSG-SO2. Risultati ottenuti per ogni punto di prova.

Scheda 24

Prova OSG-SO2	Tipo di prova: indagini soniche per trasparenza	
Luogo: L'Aquila	Cantiere: Oratorio si S. Giuseppe	Data: 17/05/2010

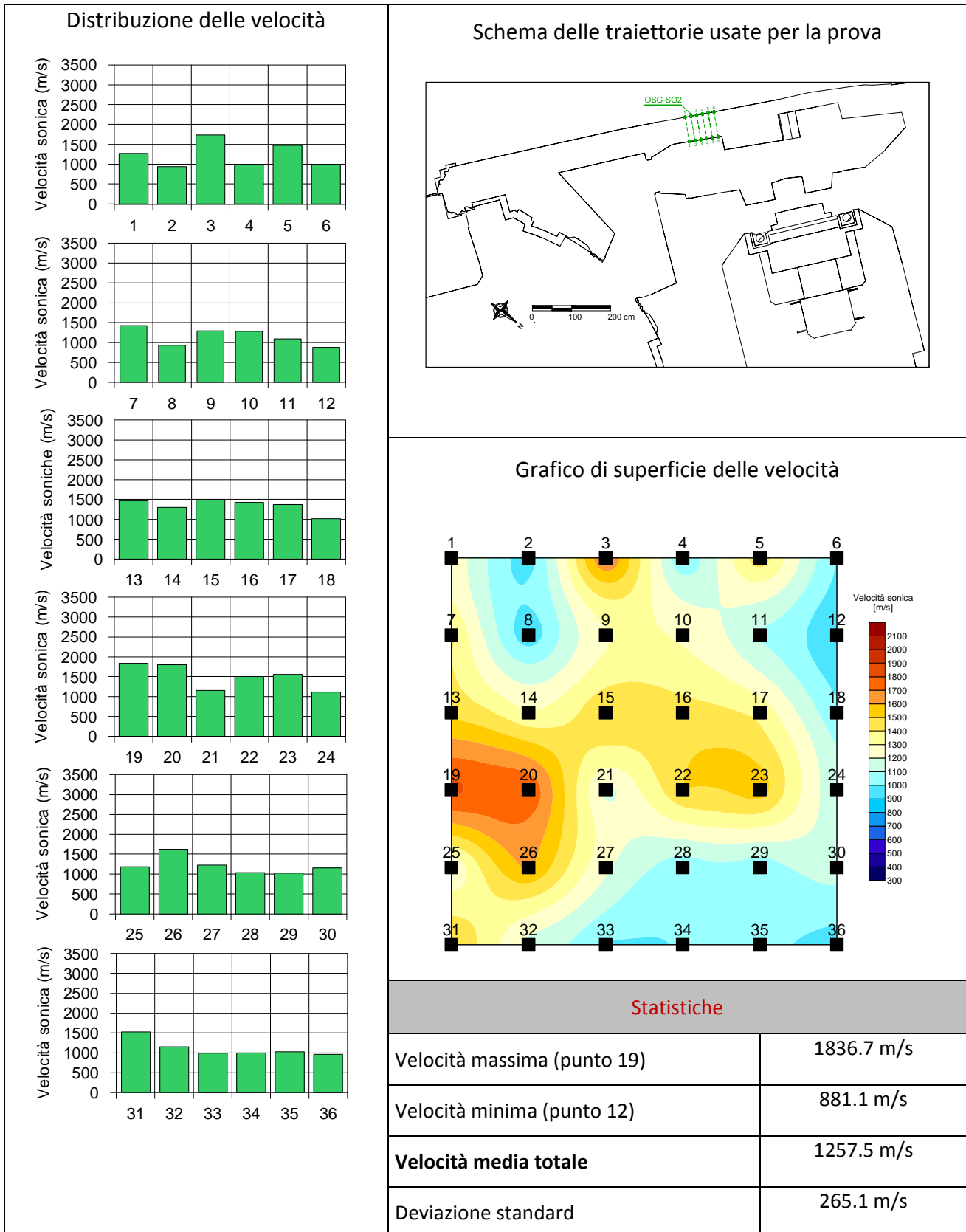


Tabella 38 – Scheda riassuntiva 24: Prova sonica per trasparenza OSG-SO5.

Allegato 19: Prova sonica OSG-SO1

Prova OSG-SO1		Data: 17/05/2010	
Punto di prova	Spessore (m)	Tempo (s)	Velocità (m/s)
1	1.80	0.003208	561.1
2	1.80	0.003560	505.6
3	1.59	0.002408	660.3
4	0.97	0.001501	646.2
5	0.97	0.001380	702.9
6	0.97	0.000994	975.9
7	1.80	0.002587	695.8
8	1.80	0.002276	790.9
9	1.59	0.001971	806.7
10	0.97	0.001399	693.4
11	0.97	0.000916	1059.0
12	0.97	0.000636	1525.2
13	1.80	0.001909	942.9
14	1.80	0.001900	947.4
15	1.59	0.002068	768.9
16	0.97	0.001115	870.0
17	0.97	0.000676	1434.9
18	0.97	0.000656	1478.7
13	1.09	0.002035	533.2
14	1.09	0.002062	526.2
15	1.09	0.001994	544.1
16	1.09	0.001533	707.8
17	1.09	0.001674	648.1
18	1.09	0.001690	642.0
19	1.09	0.001540	704.5
20	1.09	0.001630	665.6
21	1.09	0.001614	672.2
22	1.09	0.001090	995.4
23	1.09	0.001205	900.4
24	1.09	0.001690	639.0
13	1.09	0.002035	533.2
14	1.09	0.002062	526.2
15	1.09	0.001994	544.1
16	1.09	0.001533	707.8
17	1.09	0.001674	648.1
18	1.09	0.001690	642.0

Tabella 39 – Prova sonica OSG-SO1. Risultati ottenuti per ogni punto di prova.

Scheda 25

Prova OSG-SO1	Tipo di prova: indagini soniche per trasparenza	
Luogo: L'Aquila	Cantiere: Oratorio di S. Giuseppe	Data: 17/05/2010

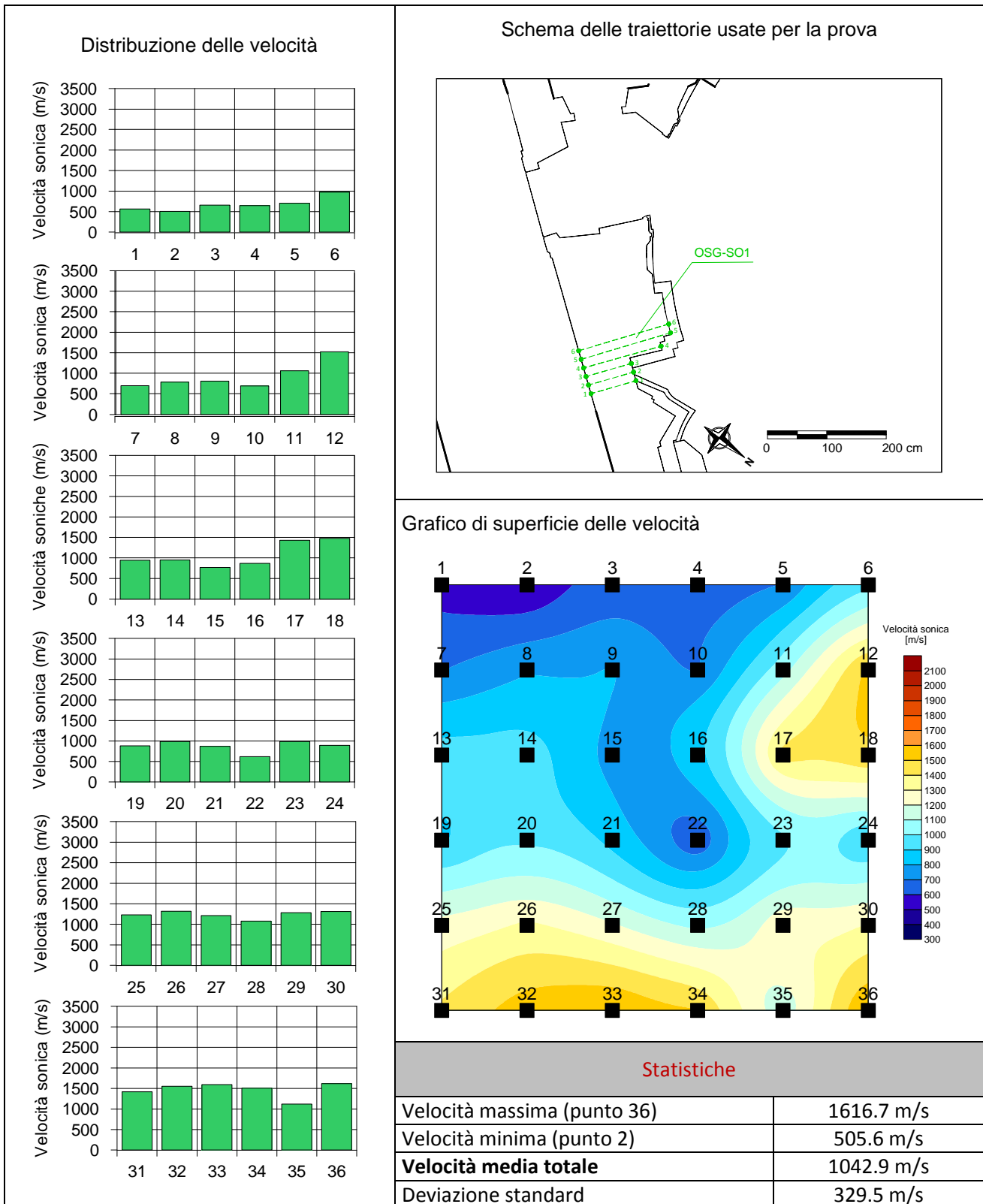


Tabella 40 – Scheda riassuntiva 25: Prove soniche per trasparenza OSG-SO2.

Allegato 20: Prova sonica OSG-S04

Prova OSG-S04		Data: 17/05/2010	
Punto di prova	Spessore (m)	Tempo (s)	Velocità (m/s)
1	0.65	0.000760	855.3
2	0.65	0.000776	837.6
3	0.65	0.000780	833.3
4	0.65	0.000388	1675.3
5	0.65	0.000320	2031.3
6	0.65	0.000364	1785.7
7	0.65	0.000700	928.6
8	0.65	0.000979	663.9
9	0.65	0.000932	697.4
10	0.65	0.000637	1020.4
11	0.65	0.000388	1675.3
12	0.65	0.000348	1867.8
13	0.65	0.001509	430.7
14	0.65	0.001308	496.9
15	0.65	0.001260	515.9
16	0.65	0.000817	795.6
17	0.65	0.000450	1444.4
18	0.65	0.000396	1641.4
13	0.65	0.001565	415.3
14	0.65	0.001528	425.4
15	0.65	0.001151	564.7
16	0.65	0.000543	1197.1
17	0.65	0.000636	1022.0
18	0.65	0.000472	1377.1
19	0.65	0.000924	703.5
20	0.65	0.001356	479.4
21	0.65	0.000853	762.0
22	0.65	0.000516	1259.7
23	0.65	0.000452	1438.1
24	0.65	0.000376	1728.7
13	0.65	0.001107	587.2
14	0.65	0.001332	488.0
15	0.65	0.001290	503.9
16	0.65	0.000888	732.0
17	0.65	0.000558	1164.9
18	0.65	0.000454	1431.7

Tabella 41 – Prova sonica OSG-S04. Risultati ottenuti per ogni punto di prova.

Scheda 26

Prova OSG-SO4	Tipo di prova: indagini soniche per trasparenza	
Luogo: L'Aquila	Cantiere: Oratorio si S. Giuseppe	Data: 18/05/2010

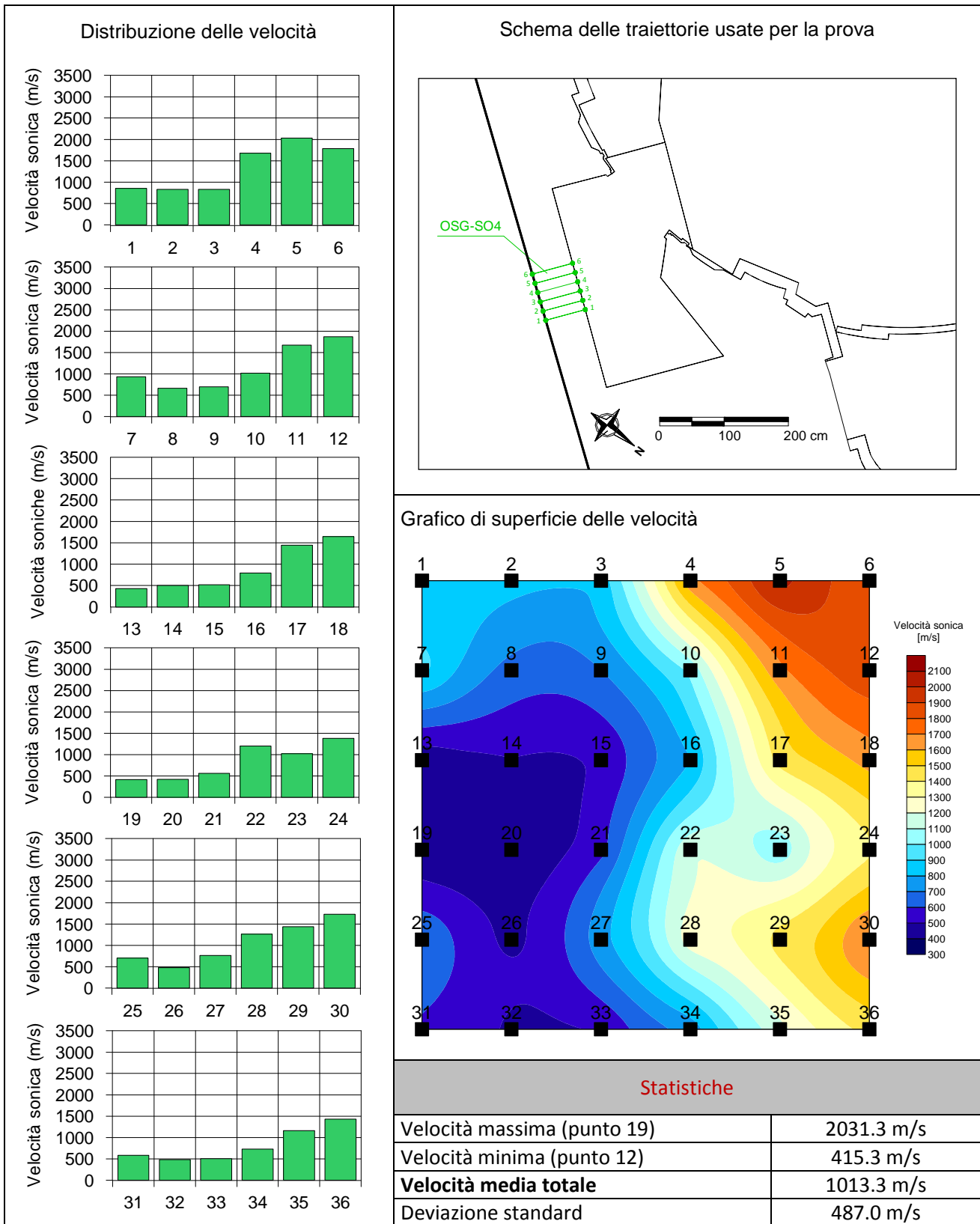


Tabella 42 – Scheda riassuntiva 26: Prove soniche per trasparenza OSG-SO4.

Allegato 21: Prova sonica OSG-S03

Prova OSG-S03		Data: 18/05/2010	
Punto di prova	Spessore (m)	Tempo (s)	Velocità (m/s)
1	0.83	0.001814	457.55
2	1.09	0.001026	1062.38
3	1.42	0.001572	903.31
4	1.61	0.001154	1395.15
5	1.89	0.001628	1160.93
6	1.72	0.001675	1026.87
7	0.80	0.000722	1108.03
8	0.83	0.001004	826.69
9	1.09	0.001288	846.27
10	1.42	0.001828	776.81
11	1.61	0.001848	871.21
12	1.89	0.001449	1304.35
13	1.72	0.001457	1180.51
14	0.80	0.000803	996.26
15	0.83	0.000896	926.34
16	1.09	0.001268	859.62
17	1.42	0.001456	975.27
18	1.61	0.001329	1211.44
19	1.89	0.0018	1050.00
20	1.72	0.00195	882.05
21	0.80	0.000586	1365.19
22	0.83	0.001023	811.34
23	1.09	0.001236	881.88
24	1.42	0.001308	1085.63
25	1.61	0.00224	718.75
26	1.89	0.001647	1147.54
27	1.72	0.001816	947.14
28	0.80	0.001706	468.93

Tabella 43 – Prova sonica OSG-S03. Risultati ottenuti per ogni punto di prova.

Scheda 27

Prova OSG-SO3	Tipo di prova: indagini soniche per trasparenza	
Luogo: L'Aquila	Cantiere: Oratorio si S. Giuseppe	Data: 18/05/2010

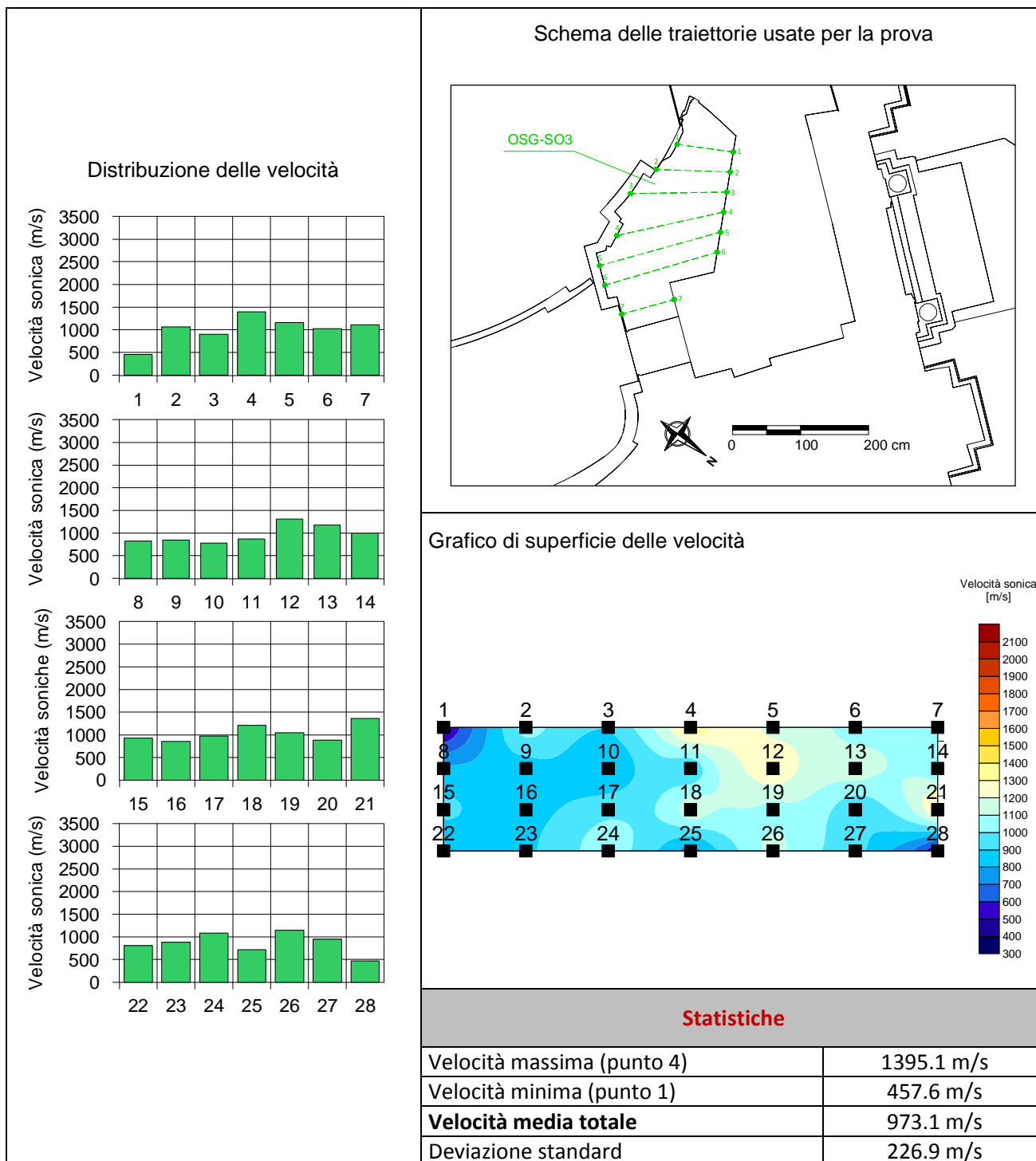


Tabella 44 – Scheda riassuntiva 27: Prove soniche per trasparenza OSG-SO3.



Ringraziamenti

Un grande grazie va al nostro relatore, Prof. Lorenzo Cantini, per la disponibilità, l'aiuto e la dedizione con cui ci ha seguiti nell'elaborare questa tesi.

Un ringraziamento particolare va alla Prof.ssa Luigia Binda per i suoi preziosi suggerimenti e ai nostri correlatori, Prof. Mario Alberto Chiorino e Prof.ssa Paola Condoleo.

Un caloroso grazie anche ai tecnici del D.I.S., Marco Cucchi, Marco Antico, Stefano Munda, per averci pazientemente illustrato e descritto ogni prova condotta.

A mio padre, che mi sta insegnando ogni giorno cosa sia il coraggio e la forza.

A mia madre, per avermi sostenuta ogni momento con infinita pazienza e amore.

A mio fratello Ricky e a mia nonna, perché vi voglio bene.

A Francesco, che in silenzio ma con i fatti, mi sta vicina ogni giorno donandomi l'amore di cui ho bisogno.

Nadia

A conclusione di un lungo e faticoso cammino, è naturale voltarsi indietro e rivedere tutti i momenti belli ma anche quelli brutti e difficili. È proprio accanto a questi ultimi, in particolare, che ho potuto scorgere quelle persone che, in modi diversi, mi sono state vicino e mi hanno aiutato a superare gli ostacoli che mi si presentavano davanti... Le prime persone che desidero ringraziare sono i miei genitori, la mia mamma e il mio papà, senza i quali nulla di tutto questo sarebbe stato possibile. Sono loro i primi che hanno creduto nelle mie capacità e che con il loro amore sono riusciti ad indicarmi in ogni occasione la strada giusta da prendere, che mi hanno sempre permesso e aiutato a realizzare i miei sogni, che mi hanno insegnato a rialzarmi dopo le delusioni, che mi hanno insegnato il sacrificio, l'umiltà e la voglia di imparare, a non accontentarmi mai dei risultati ottenuti e a lottare per ottenerne sempre di migliori e che solo con la fatica e la dedizione si può aspirare a qualcosa di grande. Accanto a loro le mie sorelle, Lidia e Irene, che con la loro "rumorosa" e costante presenza sono riuscite ad illuminare i momenti più bui, chi con preziosi e puntuali consigli chi con il gioco e la freschezza della sua età. In particolare a Lidia va il mio grazie per avere condiviso con me l'esperienza della "laurea", vedere anche le tue fatiche ha reso meno pesanti le mie. Un immenso grazie è anche per Simone, il mio Simo. Grazie per non avermi mai lasciata sola, per avermi accompagnata con tanto amore e tenerezza in tutti questi anni con i tuoi saggi consigli, per avermi aiutata sia materialmente nelle mie "lacune matematiche" e difficoltà tecniche che per aver sopportato in silenzio le mie ire. Un ultimo grazie va agli amici e ai compagni di ieri e di oggi: senza di voi quest'esperienza non sarebbe stata altrettanto bella.

Claudia



INDICE DELLE ILLUSTRAZIONI

a_Indice delle immagini

CAPITOLO 1 - *L'Aquila: le origini, l'evoluzione storica e gli eventi sismici*

Figura 1.1 – Assetto territoriale in epoca romana	17
Figura 1.2 – Fenomeno dell' <i>incastellamento</i> in epoca romana	17
Figura 1.3 – Sito su cui sorge la città dell'Aquila	18
Figura 1.4 – Elementi costitutivi della città organica	19
Figura 1.5 – Maglia di lottizzazione angioina	19
Figura 1.6 – Suddivisione della città dell'Aquila in quarti	20
Figura 1.7 – Sezione storica al 1315	20
Figura 1.8 – Pianta dell'Aquila del Fontincolano del 1575	21
Figura 1.9 – Pianta del Vandi del 1753	22
Figura 1.10 – Foto aerea della città dell'Aquila del 1945	23
Figura 1.11 – Spostamenti delle faglie attive nell'area aquilana	25
Figura 1.12 – Mappa delle faglie attive nell'area aquilana	25
Figura 1.13 – Storia sismica della città dell'Aquila	26
Figura 1.14 – Rappresentazione della sismicità storica dell'aquilano a partire dal 1300	26
Figura 1.15 – Stralcio del centro storico dell'Aquila con le zone danneggiate dal sisma del 1703	28
Figura 1.16 – La Prefettura dopo il sisma	28
Figura 1.17 – Soccorsi tra le macerie	29
Figura 1.18 – La chiesa dell'Animesante a L'Aquila	29
Figura 1.19 – Repertorio di murature costruite dopo il sisma del 1703 in diversi edifici aquilani	30
Figura 1.20 – Paramenti murari visibili nel palazzo Gaglioffi all'Aquila	31
Figura 1.21 – Genesi della "lastra" a chiusura della facciata nella tipica chiesa aquilana	33
Figura 1.22 – Planimetrie tradizionali delle chiese aquilane	34
Figura 1.23 – Evoluzione della tipica chiesa aquilana	35

CAPITOLO 2 – *La chiesa di san Biagio e l'oratorio di san Giuseppe dei Minimi nel centro storico dell'Aquila: caratteristiche degli edifici e loro stato di conservazione dopo il sisma del 6 Aprile 2009*

Figura 2.1 – Inquadramento urbano della chiesa di san Biagio	39
Figura 2.2 – Portale della chiesa di san Biagio	39
Figura 2.3 – Pianta della chiesa con l'individuazione degli originari pilastri ottagonali	40
Figura 2.4 – Pianta incisa da Jean Bleau, 1663	40
Figura 2.5 – Pianta di Antonio Vandi, 1753	41
Figura 2.6 – Pianta di Walter Paro, 1989	41
Figura 2.7 – Fasi costruttive della chiesa di san Biagio	42
Figura 2.8 – Volta in camorcanna a copertura della prima campata della navata centrale	43
Figura 2.9 – Planimetria della chiesa di san Biagio	44

Figura 2.10 – Prospetto su piazza san Biagio	45
Figura 2.11 – Prospetto su via Roio	45
Figura 2.12 – Sezione trasversale verso l’abside	46
Figura 2.13 – Sezione longitudinale verso l’oratorio di san Giuseppe dei Minimi	46
Figura 2.14 – Sezione longitudinale rivolta verso la sagrestia	46
Figura 2.15 – Muratura della porzione sommitale della facciata	47
Figura 2.16 – Muratura del prospetto posteriore su via del Cembalo di Colantoni	47
Figura 2.17 – Volta in camorcanna in corrispondenza di una lacuna	48
Figura 2.18 – Orditura lignea del tetto della navata centrale di san Biagio	48
Figura 2.19 – Copertura della chiesa di san Biagio	48
Figura 2.20 – Volta in camorcanna messa in luce grazie ad una lacuna avvenuta in seguito al sisma	49
Figura 2.21 – Catena lignea presente in facciata	49
Figura 2.22 – Capochiavi delle catene presenti in facciata	49
Figura 2.23 – Capriata con paletto ligneo	50
Figura 2.24 – Collasso della porzione superiore della facciata	52
Figura 2.25 – Collasso della porzione superiore della facciata e della parete ad una testa interna	52
Figura 2.26 – Crolli della volta in camorcanna sulla navata centrale	52
Figura 2.27 – Lesioni nelle cupolette della navata laterale sinistra	53
Figura 2.28 – Lesioni sub-orizzontali alla base dei pilastri fra navata centrale e navata laterale destra	53
Figura 2.29 – Lesioni sulle murature laterali della prima campata della navata sinistra	53
Figura 2.30 – Sagrestia: lesione inclinata sulla muratura confinante con Palazzo Piscitelli	54
Figura 2.31 – Inquadramento urbano dell’oratorio di san Giuseppe dei Minimi	54
Figura 2.32 – L’oratorio di san Giuseppe dei Minimi prima dei restauri della fine degli anni ‘90	55
Figura 2.33 – San Giuseppe dei Minimi, fronte	57
Figura 2.34 – San Giuseppe dei Minimi, l’altare	57
Figura 2.35 – Prospetto su via Roio e via Cembalo di Colantoni	57
Figura 2.36 – Planimetria dell’Oratorio di san Giuseppe dei Minimi	58
Figura 2.37 – Sezione longitudinale verso la chiesa di san Biagio	58
Figura 2.38 – Sezione longitudinale verso via degli Scardassieri	59
Figura 2.39 – Sezione trasversale verso l’abside	59
Figura 2.40 – Sezione trasversale verso la facciata	59
Figura 2.41 – Porzione sommitale di facciata	60
Figura 2.42 – Ammorsamento in angolo fra via Roio e via degli Scardassieri, vista esterna	60
Figura 2.43 – Ammorsamento in angolo fra via Roio e via degli Scardassieri, vista interna	60
Figura 2.44 – Lesioni sulla muratura d’elevazione e sull’imposta della volta principale, lato sud-est	60
Figura 2.45 – Volta di mattoni al di sopra dell’ambiente d’angolo sud-est, vista dal basso	60
Figura 2.46 – Capochiavi presenti in facciata	61
Figura 2.47 – Capriata con paletto ligneo visto da via Roio	61
Figura 2.48 – Collegamento fra facciata e muro longitudinale: estremo destro	62
Figura 2.49 – Collegamento fra facciata e muro longitudinale:estremo sinistro	62
Figura 2.50 – Innesco del meccanismo di ribaltamento della facciata	62
Figura 2.51 – Innesco del meccanismo di ribaltamento della vela campanaria	63
Figura 2.52 – Lesioni nella parete di fondo dell’abside	63
Figura 2.53 – Lesioni nelle strutture orizzontali degli ambienti d’angolo, angolo di nord-est	63
Figura 2.54 – Lesioni sub-orizzontali a sinistra dell’abside	64

CAPITOLO 3 – *Tutela degli edifici in zona sismica*

Figura 3.1 – Il crollo della volta della Basilica superiore di Assisi avvenuto il 26 settembre 1997	76
Figura 3.2 – Edifici crollati nel centro storico di Onna	76
Figura 3.3 – La Torre Civica di Pavia	77
Figura 3.4 – Il crollo della Torre Civica di Pavia	77
Figura 3.5 – La cattedrale di Noto dopo il crollo	78
Figura 3.6 – Veduta del crollo all'interno della cattedrale	78
Figura 3.7 – Intervento progettuale per la ricostruzione della cattedrale di Noto	78
Figura 3.8 – Veduta dei pilastri ricostruiti e dell'innesto con la muratura sovrastante originale	78
Figura 3.9 – Intervento progettuale per la ricostruzione della cattedrale di noto. Ubicazione delle catene	78
Figura 3.10 – Intervento progettuale per la ricostruzione della cattedrale di noto. Dettaglio del nodo tra archi-timpano e muratura	78

CAPITOLO 4 – *Approccio metodologico al caso dell'Aquila*

Figura 4.1 – Schematizzazione per macroelementi	86
Figura 4.2 – Abaco dei meccanismi di collasso delle chiese 1-10	92
Figura 4.3 – Abaco dei meccanismi di collasso delle chiese 11-20	93
Figura 4.4 – Abaco dei meccanismi di collasso delle chiese 21-28	94
Figura 4.5 – Scheda per il rilievo dei danni ai beni culturali – chiesa di san Biagio Amiternum 1	95
Figura 4.6 – Scheda per il rilievo dei danni ai beni culturali – chiesa di san Biagio Amiternum 2	96
Figura 4.7 – Scheda per il rilievo dei danni ai beni culturali – chiesa di san Biagio Amiternum 3	97
Figura 4.8 – Scheda per il rilievo dei danni ai beni culturali – chiesa di san Biagio Amiternum 4	98
Figura 4.9 – Scheda per il rilievo dei danni ai beni culturali – chiesa di san Biagio Amiternum 5	99
Figura 4.10 – Scheda per il rilievo dei danni ai beni culturali – chiesa di san Biagio Amiternum 6	100
Figura 4.11 – Scheda per il rilievo dei danni ai beni culturali – chiesa di san Biagio Amiternum 7	101
Figura 4.12 – Scheda per il rilievo dei danni ai beni culturali – Oratorio di san Giuseppe dei Minimi, pag. 1	102
Figura 4.13 – Scheda per il rilievo dei danni ai beni culturali – Oratorio di san Giuseppe dei Minimi, pag. 2	103
Figura 4.14 – Scheda per il rilievo dei danni ai beni culturali – Oratorio di san Giuseppe dei Minimi, pag. 3	104
Figura 4.15 – Scheda per il rilievo dei danni ai beni culturali – Oratorio di san Giuseppe dei Minimi, pag. 4	105
Figura 4.16 – Scheda per il rilievo dei danni ai beni culturali – Oratorio di san Giuseppe dei Minimi, pag. 5	106
Figura 4.17 – Scheda per il rilievo dei danni ai beni culturali – Oratorio di san Giuseppe dei Minimi, pag. 6	107
Figura 4.18 – Scheda per il rilievo dei danni ai beni culturali – Oratorio di san Giuseppe dei Minimi, pag. 7	108
Figura 4.19 – Esempio di “radicamento” all'Aquila: cerchiature lignee	109
Figura 4.20 – Esempio di “radicamento” all'Aquila: paletto ligneo	110
Figura 4.21 – La moderna copertura latero-cementizia della chiesa di S. Maria Paganica	110
Figura 4.22 – Meccanismo n°1 – ribaltamento della facciata	111
Figura 4.23 – Schematizzazione del meccanismo di ribaltamento della facciata dell'oratorio	111

Figura 4.24 – Innesco del meccanismo di ribaltamento della facciata dell’oratorio	111
Figura 4.25 – Fessurazione lungo il collegamento tra la facciata e il muro longitudinale di sinistra	111
Figura 4.26 – Lesioni sull’imposta della volta principale dovute al distacco della facciata	111
Figura 4.27 – Meccanismo n°2 – ribaltamento della sommità della facciata	111
Figura 4.28 – Schematizzazione del meccanismo di ribaltamento della porzione sommitale della facciata della chiesa di san Biagio	111
Figura 4.29 – Il fronte di san Biagio prima del crollo	112
Figura 4.30 – Collasso della porzione sommitale della facciata nella chiesa di san Biagio	112
Figura 4.31 – Fessure nella parete longitudinale in prossimità del margine sinistro del timpano	112
Figura 4.32 – Fessura al margine destro del timpano	112
Figura 4.33 – Interno della chiesa di san Biagio prima del crollo	112
Figura 4.34 – Interno della chiesa di san Biagio dopo il crollo della parte sommitale della facciata	112
Figura 4.35 – Collasso interno della sommità della facciata	112
Figura 4.36 – Collasso interno della sommità della facciata	112
Figura 4.37 – Innesco del meccanismo di ribaltamento della vela campanaria	113
Figura 4.38 – Meccanismo n°26 – aggetti	113
Figura 4.39 – Meccanismo bilaterale attivatosi nella vela campanaria	113
Figura 4.40 – Meccanismo n°7 – risposta longitudinale del colonnato	113
Figura 4.41 – Fessurazioni alla base dei pilastri	113
Figura 4.42 – Meccanismo n°9 – volte delle navate laterali	114
Figura 4.43 – Quadro fessurativo: sezione B-B	114
Figura 4.44 – Quadro fessurativo: sezione C-C	114
Figura 4.45 – Fessurazione della prima arcata sinistra della navata principale	115
Figura 4.46 – Fessurazione della quarta arcata sinistra della navata principale	115
Figura 4.47 – Scorrimento trasversale della prima arcata sul lato sinistro	115
Figura 4.48 – Quadro fessurativo: sezione D-D	115
Figura 4.49 – Quadro fessurativo: sezione E-E	115
Figura 4.50 – Meccanismo n°9 – volte delle navate laterali	116
Figura 4.51 – Quadro fessurativo delle cupolette ribassate delle navate laterali	116
Figura 4.52 – Lesioni nelle cupolette della navata laterale di destra, viste verso la facciata	116
Figura 4.53 – Lesioni nelle cupolette della navata laterale di sinistra, viste verso la facciata	116
Figura 4.54 – Fessurazione circolare nelle volte delle navate laterali	116

CAPITOLO 5 – *Prove in sito per la caratterizzazione delle strutture portanti*

Figura 5.1 – Termocamera Avio-500	124
Figura 5.2 – Termoconvettore a GPL e lampada ad infrarosso da 1.5 Kw	124
Figura 5.3 – Schematizzazione della strumentazione per indagini termografiche	124
Figura 5.4 – Esecuzione della prova termografica sulla volta in camorcanna	124
Figura 5.5 – Esecuzione della prova termografica su un pilastro	124
Figura 5.6 – Martello strumentato e amplificatore di segnale	127
Figura 5.7 – PC per l’acquisizione e memorizzazione dei dati	127
Figura 5.8 – Schema dell’apparecchiatura per indagini soniche	128
Figura 5.9 – Esecuzione di una prova sonica	128
Figura 5.10 – Schemi esplicativi delle principali modalità di prova utilizzate nelle indagini soniche	129
Figura 5.11 – Modalità di acquisizione	131

Figura 5.12 – Schemi di risultati di prove radar	131
Figura 5.13 – Antenna radar	132
Figura 5.14 – Indagini radar 3D	132
Figura 5.15 – Indagini radar	132
Figura 5.16 – Geometrie di acquisizione	132
Figura 5.17 – Calibrazione della prova con una lastra metallica	133
Figura 5.18 – Scheda di prova radar: presenza di strati e riflessioni multiple dei giunti	133
Figura 5.19 – Esecuzione di un foro mediante trapano a percussione	138
Figura 5.20 – Osservazione mediante endoscopio	138
Figura 5.21 – Schematizzazione dello strumento endoscopio	138
Figura 5.22 – Esecuzione di un carotaggio	138
Figura 5.23 – Esecuzione di una video-endoscopia	139
Figura 5.24 – Videoendoscopio	139
Figura 5.25 – Operazione di smontaggio dell'apparecchio murario	139
Figura 5.26 – Sega circolare a disco diamantato eccentrico	141
Figura 5.27 – Taglio effettuato con disco diamantato eccentrico e posizionamento dischetti invar	141
Figura 5.28 – Lettura della variazione delle distanze tra le basi di riferimento	142
Figura 5.29 – Martinetto piatto (dim. 350 x 250 x 4 mm) utilizzato per le prove	142
Figura 5.30 – Verifica delle distanze tra i punti di riferimento dopo l'inserimento del martinetto	142
Figura 5.31 – Il sistema idraulico collegato al martinetto inserito nella muratura	142
Figura 5.32 – Deformazione delle estremità del taglio	144
Figura 5.33 – Possibili deformazioni del taglio	144
Figura 5.34 – Preparazione del paramento per l'esecuzione della prova a compressione monoassiale	146
Figura 5.35 – Trasduttori di spostamento (LVDT) applicati alla muratura	146
Figura 5.36 – Grafico sforzi/deformazioni relativo alla prova con doppio martinetto	146
Figura 5.37 – Schema logico d'acquisizione – sistema a 9 canali	150

CAPITOLO 6 – *Armonizzazione dei risultati*

Figura 6.1 – Localizzazione delle prove nella chiesa di san Biagio e nell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi	153
Figura 6.2 – Porzione muraria crollata	154
Figura 6.3 – Fessura nella parete longitudinale in prossimità del margine sinistro del timpano	155
Figura 6.4 – Fessura al margine destro del timpano	155
Figura 6.5 – Fessurazione nella prima arcata di sinistra della parete della navata principale	155
Figura 6.6 – Collasso della sommità della facciata delle chiesa	156
Figura 6.7 – Fessurazione nella quarta arcata di sinistra della parete della navata principale	157
Figura 6.8 – Quadro fessurativo: sezione B-B	157
Figura 6.9 – Quadro fessurativo: sezione C-C	157
Figura 6.10 – Quadro fessurativo nelle volte	158
Figura 6.11 – Fessurazione nelle volte	158
Figura 6.12 – Fessurazione nelle volte a base ellittica	158
Figura 6.13 – Crolli localizzati nella volta della navata centrale	158
Figura 6.14 – Scorrimento trasversale della prima arcata sul lato sinistro	158
Figura 6.15 – Quadro fessurativo: sezione D-D	159

Figura 6.16 – Quadro fessurativo: sezione E-E	159
Figura 6.17 – Quadro fessurativo e deformativo	160
Figura 6.18 – Quadro fessurativo. Sezione trasversale verso la facciata	160
Figura 6.19 – Lesioni associabili all’innescò del meccanismo di ribaltamento della facciata lungo il lato sud-est	160
Figura 26.0 – Lesioni associabili all’innescò del meccanismo di ribaltamento della facciata lungo il lato sud-est	160
Figura 6.21 – Lesione orizzontale a livello della cantoria	161
Figura 6.22 – Innescò del ribaltamento di facciata	161
Figura 6.23 – Innescò del ribaltamento di facciata	161
Figura 6.24 – Lesioni interne legate al ribaltamento di facciata	161
Figura 6.25 – Lesione interne associate al ribaltamento di facciata	161
Figura 6.26 – Quadro fessurativo: sezione longitudinale verso via degli Scardassieri	161
Figura 6.27 – Quadro fessurativo: sezione longitudinale verso la chiesa di san Biagio	161
Figura 6.28 – Fessurazione delle murature laterali destre	162
Figura 6.29 – Fessurazioni delle murature laterali sinistre	162
Figura 6.30 – Quadro fessurativo: sezione trasversale verso l’abside	162
Figura 6.31 – Lesioni nella parete di fondo dell’altare	162
Figura 6.32 – Lesioni nella parete di destra dell’altare	162
Figura 6.33 – Risultati delle prove termografiche condotte sulla controfacciata	163
Figura 6.34 – Punti di prova sul lato esterno della muratura	163
Figura 6.35 – Punti di prova sul lato interno della muratura	164
Figura 6.36 – Emissione dell’impulso	164
Figura 6.37 – Ricezione dell’impulso	164
Figura 6.38 – Localizzazione dei profili orizzontali alla destra dell’ingresso sinistro	165
Figura 6.39 – Localizzazione dei profili orizzontali alla destra dell’ingresso sinistro	165
Figura 6.40 – Profili sulla facciata esterna, verticali ed orizzontali	165
Figura 6.41 – Profili nella controfacciata esterna a sinistra dell’ingresso	165
Figura 6.42 – profili verticali della controfacciata a sinistra dell’ingresso	165
Figura 6.43 – Elaborazione dei dati	167
Figura 6.44 – Elaborazione del tredicesimo profilo della controfacciata	167
Figura 6.45 – Risultati dei profili orizzontali	167
Figura 6.46 – Profilo orizzontale della facciata esterna	168
Figura 6.47 – Profilo a destra dell’ingresso nella controfacciata	168
Figura 6.48 – Esecuzione del taglio nella muratura	168
Figura 6.49 – Esecuzione della prova	168
Figura 6.50 – Trasduttori LVDT applicati alla muratura	169
Figura 6.51 – Smontaggio parziale della muratura in corrispondenza del taglio superiore della prova SB-J1D	171
Figura 6.52 – Schizzi illustranti la tessitura muraria rilevata dopo l’esecuzione dello smontaggio parziale della muratura	171
Figura 6.53 – Localizzazione della prova	171
Figura 6.54 – Esecuzione della videoendoscopia	172
Figura 6.55 – Vista endoscopica	172
Figura 6.56 – Schema della stratigrafia ottenuta dalla video endoscopia SB-A’’-C2	172
Figura 6.57 – Ammosramento AQ-SBA4	172

Figura 6.58 – Analisi ammorsamento	172
Figura 6.59 – Verifica ammorsamento	172
Figura 6.60 – Ammorsamento AQ-SBA5	173
Figura 6.61 – Verifica ammorsamento	173
Figura 6.62 – Sezione lucida del campione di malta denominato SC1	173
Figura 6.63 – Schema esemplificativo delle deduzioni tratte dalle analisi diagnostiche	175
Figura 6.64 – Termografia sulle murature ovest dell'abside	176
Figura 6.65 – Termografia attiva sulla muratura centrale dell'abside	176
Figura 6.66 – Termografia attiva sulla muratura ovest dell'abside minore	177
Figura 6.67 – Localizzazione e schematizzazione del profilo Abs-10	178
Figura 6.68 – Profilo Abs-10	178
Figura 6.69 – Localizzazione e schematizzazione del profilo Abs-2v	178
Figura 6.70 – Profilo Abs-2v	179
Figura 6.71 – Quarto profilo Abs-2v	179
Figura 6.72 – Localizzazione e schematizzazione profilo Abs-3v	179
Figura 6.73 – Profilo Abs-3v	179
Figura 6.74 – Radargramma ottenuto da un profilo sulla muratura esterna dell'abside	180
Figura 6.75 – Prova SB-J2D	180
Figura 6.76 – Prova SB-J2D	181
Figura 6.77 – Trasduttori LVDT applicati sulla muratura	181
Figura 6.78 – Smontaggio parziale della muratura in corrispondenza del taglio superiore della prova	182
Figura 6.79 – Schizzi della muratura dopo il suo smontaggio	182
Figura 6.80 – Saggio AQ-Sba1	183
Figura 6.81 – Saggio AQ-SBa2: particolare dei due strati di intonaco sovrapposti alla pietra	183
Figura 6.82 – Saggio AQ-SBa3: particolare dei due strati d'intonaco sovrapposti alla pietra	183
Figura 6.83 – Verifica ammorsamento AQ-SBA8	184
Figura 6.84 – Particolare ammorsamento AQ-SBA8	184
Figura 6.85 – Ammorsamento AQ-SBA2	184
Figura 6.86 – Ammorsamento AQ-SBA2	184
Figura 6.87 – Verifica ammorsamento AQ-SBA2	184
Figura 6.88 – Schema esemplificativo delle deduzioni delle analisi diagnostiche	185
Figura 6.89 – Confronto tra l'immagine visibile e termica della muratura perimetrale	186
Figura 6.90 – Localizzazione della prova	186
Figura 6.91 – Emissione dell'impulso	187
Figura 6.92 – Ricezione dell'impulso	187
Figura 6.93 – Localizzazione della prova	188
Figura 6.94 – Particolare della prova OSG-E6	188
Figura 6.95 – Restituzione grafica della stratigrafia della sezione muraria	188
Figura 6.96 – Ammorsamento AQ-SBA6	188
Figura 6.97 – Verifica ammorsamento AQ-SBA6	188
Figura 6.98 – Ammorsamento AQ-SBA7	189
Figura 6.99 – Verifica ammorsamento	189
Figura 6.100 – Schema esemplificativo delle deduzioni tratte dalle analisi diagnostiche	189
Figura 6.101 – Ammorsamento AQ-SBA1	190
Figura 6.102 – Verifica ammorsamento	190

Figura 6.103 – Schizzo verifica ammorsamento	190
Figura 6.104 – Ammorsamento AQ-SBA3	190
Figura 6.105 – Schizzo verifica ammorsamento	190
Figura 6.106 – Verifica ammorsamento	190
Figura 6.107 – Localizzazione del carotaggio SB-C''-C3	190
Figura 6.108 – Vista endoscopica	191
Figura 6.109 – Schema della stratigrafia ottenuto dalla video endoscopia SB-C''-C3	191
Figura 6.110 – Schema esemplificativo delle deduzioni tratte dalle analisi diagnostiche	192
Figura 6.111 – Capriate lignee	193
Figura 6.112 – Dettaglio delle centine lignee della volta	193
Figura 6.113 – Dettaglio dell'intreccio delle canne	193
Figura 6.114 – Risultati della termografia effettuata sulla volta della navata centrale	193
Figura 6.115 – Porzione di muratura in blocchi di cls	193
Figura 6.116 – Porzione di muratura in blocchi di cls	193
Figura 6.117 – Accumulo di materiale al di sopra delle cupole delle navate laterali	194
Figura 6.118 – Vista dell'estradosso di una cupola della navata laterale	194
Figura 6.119 – Geometria di acquisizione	195
Figura 6.120 – Geometria di acquisizione	195
Figura 6.121 – Sezione radar riferita alla profondità di 53 cm	195
Figura 6.122 – Sezione radar ricavata dai profili trasversali a 58 cm	195
Figura 6.123 – Localizzazione della prova	199
Figura 6.124 – Vista endoscopica SB-C4-C2	199
Figura 6.125 – Rappresentazione schematica della stratigrafia osservata	200
Figura 6.126 – Rappresentazione schematica della stratigrafia osservata	200
Figura 6.127 – Localizzazione della prova	200
Figura 6.128 – Rappresentazione schematica della stratigrafia osservata	200
Figura 6.129 – Rappresentazione schematica della stratigrafia osservata	201
Figura 6.130 – Rappresentazione schematica della stratigrafia osservata	201
Figura 6.131 – Vista dall'interno	201
Figura 6.132 – Geometria del pilastro C e traiettorie per l'esame tomografico	201
Figura 6.133 – Risultato della tomografia radar	201
Figura 6.134 – Restituzione grafica dell'indagine sonica confrontabile con la tomografia	201
Figura 6.135 – termografia passiva condotta sul pilastro D	203
Figura 6.136 – Localizzazione delle prove	204
Figura 6.137 – Localizzazione delle prove	204
Figura 6.138 – Restituzione grafica della stratigrafia osservata	204
Figura 6.139 – Restituzione grafica della stratigrafia osservata	204
Figura 6.140 – Termografia attiva SB-TG3	207
Figura 6.141 – Geometrie di acquisizione sul pilastro G	208
Figura 6.142 – Profilo 1 lato 1	208
Figura 6.143 – Profilo 5 lato 1	208
Figura 6.144 – Profilo 7 lato 1	208
Figura 6.145 – Radargramma del volume 3D	208
Figura 6.146 – Geometria del pilastro e traiettorie per la tomografia	209
Figura 6.147 – Risultato della tomografia radar	209
Figura 6.148 – Indicazione dei valori del campo di velocità	209

Figura 6.149 – Localizzazione della prova	209
Figura 6.150 – Localizzazione della prova	209
Figura 6.151 – Restituzione della stratigrafia osservata	210
Figura 6.152 – Vista interna	210
Figura 6.153 – Prova SB-J3S condotta sul pilastro G	210
Figura 6.154 – Smontaggio parziale della muratura	211
Figura 6.155 – Schizzo mostrante la tessitura muraria visibile dopo lo smontaggio parziale	211
Figura 6.156 – termografia attiva condotta sul pilastro H	212
Figura 6.157 – geometrie di acquisizione per profili verticali del pilastro H	213
Figura 6.158 – Esempio sovrapposizione geometria del pilastro e profilo radar	213
Figura 6.159 – Radargramma del quarto profilo	213
Figura 6.160 – Radargramma riferito al volume dati 3D	213
Figura 6.161 – Confronto radargramma 3D e termografia	214
Figura 6.162 – Confronto radargramma 3D e termografia	214
Figura 6.163 – Immagine termografica della tessitura muraria	214
Figura 6.164 – Particolare dei due strati di intonaco sovrapposti, delle pietre e del mattone	214
Figura 6.165 – Smontaggio parziale della muratura	215
Figura 6.166 – Smontaggio parziale della muratura	215
Figura 6.167 – Schizzi illustranti la tessitura muraria dopo l'operazione di smontaggio	215
Figura 6.168 – Schizzi illustranti la tessitura muraria dopo l'operazione di smontaggio	215
Figura 6.169 – Confronti velocità soniche nelle diverse sezioni dei pilastri B-C-D	218
Figura 6.170 – Confronti velocità soniche nelle diverse sezioni dei pilastri G-H-I	219
Figura 6.171 – Radargramma 3D relativo al pilastro H	219
Figura 6.172 – Termografia del pilastro H	219
Figura 6.173 – Saggio stratigrafico eseguito sul pilastro H	219
Figura 6.174 – stratigrafia osservata mediante endoscopia sul pilastro C	220
Figura 6.175 – Lato esterno della muratura	220
Figura 6.176 – Lato interno della muratura	221
Figura 6.177 – Sesto profilo	223
Figura 6.178 – Profilo più esterno	223
Figura 6.179 – Localizzazione carotaggio OSG-C2	224
Figura 6.180 – Vista interna	224
Figura 6.181 – Schematizzazione della stratigrafia osservata	224
Figura 6.182 – Esecuzione della videoendoscopia	224
Figura 6.183 – Schemi rappresentativi della stratigrafia rilevata	225
Figura 6.184 – Localizzazione prove con martinetti	225
Figura 6.185 – Schema esemplificativo delle deduzioni tratte dalle analisi diagnostiche	226
Figura 6.186 – Termografia attiva condotta sulle murature perimetrali OSG-T1	227
Figura 6.187 – Termografia attiva condotta sulle murature perimetrali OSG-T2	228
Figura 6.188 – Termografia attiva condotta sulle murature perimetrali OSG-T3	228
Figura 6.189 – Termografia attiva condotta sulle murature perimetrali OSG-T4	228
Figura 6.190 – Termografia attiva condotta sulle murature perimetrali OSG-T5	229
Figura 6.191 – Emissione dell'impulso	229
Figura 6.192 – Ricezione dell'impulso	229
Figura 6.193 – Emissione dell'impulso	230
Figura 6.194 – Ricezione dell'impulso	230

Figura 6.195 – Localizzazione delle indagini radar	232
Figura 6.196 – Primo profilo verticale del gruppo OR_2V	232
Figura 6.197 – Primo profilo verticale del gruppo OR_4V	232
Figura 6.198 – Profilo verticale relativo all'abside	233
Figura 6.199 – Primo profilo orizzontale del gruppo OR_4V	233
Figura 6.200 – Localizzazione della prova	234
Figura 6.201 – Localizzazione carotaggio	234
Figura 6.202 – Schemi rappresentativi della stratigrafia rilevata	234
Figura 6.203 – Localizzazione delle endoscopie	234
Figura 6.204 – Schemi rappresentativi della stratigrafia rilevata	235
Figura 6.205 – Vista endoscopica	235
Figura 6.206 – Schemi rappresentativi della stratigrafia rilevata	235
Figura 6.207 – Vista endoscopica	235
Figura 6.208 – Schemi rappresentativi della stratigrafia rilevata	235
Figura 6.209 – Vista endoscopica	235
Figura 6.210 – Schemi rappresentativi della stratigrafia rilevata	236
Figura 6.211 – Vista endoscopica	236
Figura 6.212 – Schemi rappresentativi della stratigrafia rilevata	236
Figura 6.213 – Vista endoscopica	236
Figura 6.214 – Localizzazione delle prove con martinetti doppi	236
Figura 6.215 – Schema esemplificativo delle deduzioni tratte dalle analisi diagnostiche	238
Figura 6.216 – Ipotesi di forme modali dell'oratorio di san Giuseppe dei Minimi	240

CONCLUSIONI

Figura C.1 – Risultati delle prove termografiche condotte sulla facciata	245
Figura 6.2 – Ammorsamento AQ-SBA4	247
Figura C. 3 – Schema esemplificativo delle deduzioni tratte dalle indagini diagnostiche condotte sulla facciata	247
Figura C.4 – Prova termografica condotta sulla muratura perimetrale ovest	249
Figura C. 5 – Vista endoscopica della muratura perimetrale ovest	249

ALLEGATI

b_Indice dei grafici

CAPITOLO 1 - *L'Aquila: le origini, l'evoluzione storica e gli eventi sismici*

Grafico 1 – Numero di beni monumentali analizzati dalla Protezione Civile suddivisi per tipologia	33
Grafico 2 – Rilievo dei danni ai beni monumentali alla data del 10 Maggio 2009	33
Grafico 3 – Livelli di danno alle chiese	34

CAPITOLO 2 – *La chiesa di san Biagio e l'oratorio di san Giuseppe dei Minimi nel centro storico dell'Aquila: caratteristiche degli edifici e loro stato di conservazione dopo il sisma del 6 Aprile 2009*

CAPITOLO 3 – *Tutela degli edifici in zona sismica*

CAPITOLO 4 – *Approccio metodologico al caso dell'Aquila*

CAPITOLO 5 – *Prove in sito per la caratterizzazione delle strutture portanti*

Grafico 1 – Tecniche di diagnosi	120
---	-----

CAPITOLO 6 – *Armonizzazione dei risultati*

Grafico 6.1 – Prova martinetto singolo SB-J1D. Grafico sforzi-deformazioni	170
Grafico 6.2 – Prova martinetto singolo SB-J2D. Grafico sforzi-deformazioni	181

CONCLUSIONI

Grafico C.1 – Prova martinetto singolo SB-J1S. Grafico sforzi-deformazioni	246
---	-----

ALLEGATI

Grafico 1 – Prova martinetto singolo SB-J1S. Andamento della distanza in funzione dello sforzo applicato	251
Grafico 2 – Prova martinetto singolo SB-J1S. Andamento della chiusura del taglio in funzione dello sforzo applicato	251
Grafico 3 – Prova martinetto doppio SB-J1D. Grafico sforzi-deformazioni ottenuto dagli LVDT 1, 2, 3, 4 e 5	252
Grafico 4 – Prova martinetto doppio SB-J1D. Grafico sforzi-deformazioni ottenuto dalla media dagli LVDT 1, 2, 3, 4 e 5	252
Grafico 5 – Andamento delle basi di spostamento in rapporto allo sforzo applicato	255
Grafico 6 – Andamento della chiusura del taglio in rapporto allo sforzo applicato	256
Grafico 7 – Prova martinetto doppio SB-J2; grafico sforzi-deformazioni	257
Grafico 8 – Prova martinetto doppio SB-J2; grafico sforzi-deformazioni ottenuto dalla media dei 4 LVDT	260
Grafico 9 – Andamento della distanza tra le basi di misura in funzione dello sforzo applicato	272
Grafico 10 – Andamento della distanza tra le basi di misura in funzione dello sforzo applicato	273
Grafico 11 – Andamento della distanza tra le basi di misura in funzione dello sforzo applicato	278
Grafico 12 – Andamento della distanza tra le basi di misura in funzione dello sforzo applicato	278

c_Indice delle tabelle

CAPITOLO 1 - *L'Aquila: le origini, l'evoluzione storica e gli eventi sismici*

Tabella 1.1 – Descrizione del danno strutturale	34
--	----

CAPITOLO 2 – *La chiesa di san Biagio e l'oratorio di san Giuseppe dei Minimi nel centro storico dell'Aquila: caratteristiche degli edifici e loro stato di conservazione dopo il sisma del 6 Aprile 2009*

Tabella 2.1 – Schema cronologico dei principali avvenimenti della chiesa di san Biagio	41
---	----

Tabella 2.2 – Schema cronologico dei principali avvenimenti dell'Oratorio di s. Giuseppe dei Minimi	54
--	----

CAPITOLO 3 – *Tutela degli edifici in zona sismica*

CAPITOLO 4 – *Approccio metodologico al caso dell'Aquila*

CAPITOLO 5 – *Prove in sito per la caratterizzazione delle strutture portanti*

Tabella 5.1 – Velocità soniche in differenti materiali	126
---	-----

CAPITOLO 6 – *Armonizzazione dei risultati*

Tabella 6.1 – Sintesi dei risultati della prova sonica condotta sulle murature della facciata	164
--	-----

Tabella 6.2 – Valori di ripristino calcolati con la prova SB-J1S	169
---	-----

Tabella 6.3 – Modulo elastico e coefficiente di dilatazione trasversale ottenuti dalla prova SB-J1S	170
--	-----

Tabella 6.4 – Corrispondenza tra le prove termografiche, soniche e con martinetti doppi	174
--	-----

Tabella 6.5 – Sintesi dei risultati della prova sonica condotta sulle murature dell'abside	177
---	-----

Tabella 6.6 – Valori di ripristino calcolati con la prova Sb-J3S	180
---	-----

Tabella 6.7 – Modulo elastico e coefficiente di dilatazione trasversale ottenuti dalla prova SB-J3S	181
--	-----

Tabella 6.8 – Corrispondenza tra le prove termografiche, soniche e con martinetti doppi	185
--	-----

Tabella 6.9 – Risultati della prova sonica	188
---	-----

Tabella 6.10 – Scheda riassuntiva dei valori della prova in direzione 1-3	197
--	-----

Tabella 6.11 – Scheda riassuntiva dei valori della prova in direzione 2-4	197
--	-----

Tabella 6.12 – Scheda riassuntiva dei valori della prova in direzione 1-3	198
--	-----

Tabella 6.13 – Scheda riassuntiva dei valori della prova in direzione 2-4	199
--	-----

Tabella 6.14 – Scheda riassuntiva dei valori della prova in direzione 1-3	202
--	-----

Tabella 6.15 – Scheda riassuntiva dei valori della prova in direzione 2-4	203
--	-----

Tabella 6.16 – Scheda riassuntiva dei valori della prova in direzione 1-3	205
--	-----

Tabella 6.17 – Scheda riassuntiva dei valori della prova in direzione 2-4	205
--	-----

Tabella 6.18 – Scheda riassuntiva dei valori della prova in direzione 1-3	206
--	-----

Tabella 6.19 – Scheda riassuntiva dei valori della prova in direzione 2-4	206
--	-----

Tabella 6.20 – Valori di ripristino calcolati con la prova SB-J3S	210
--	-----

Tabella 6.21 – Scheda riassuntiva dei valori della prova in direzione 1-3	211
--	-----

Tabella 6.22 – Scheda riassuntiva dei valori della prova in direzione 2-4	212
--	-----

Tabella 6.23 – Valori di ripristino calcolati con la prova SB-J4S	215
--	-----

Tabella 6.24 – Scheda riassuntiva dei valori della prova in direzione 1-3	216
--	-----

Tabella 6.25 – Scheda riassuntiva dei valori della prova in direzione 2-4	216
Tabella 6.26 – Confronti velocità soniche rilevate	218
Tabella 6.27 – Sintesi dei risultati della prova sonica condotta sulla muratura della facciata	222
Tabella 6.28 – Sintesi dei risultati della prova sonica condotta sulla muratura della facciata	222
Tabella 6.29 – Sintesi dei risultati della prova sonica condotta sulla muratura perimetrale	230
Tabella 6.30 – Sintesi dei risultati della prova sonica condotta sulla muratura perimetrale	231
Tabella 6.31 – Sintesi dei risultati della prova sonica condotta sul pilastro ad ovest dell'abside	231
Tabella 6.32 – Corrispondenza tra prove termografiche, soniche e con martinetti doppi	238

CONCLUSIONI

Tabella C.1 – Sintesi dei risultati della prova sonica condotta sulla muratura della facciata	244
Tabella C.2 – Sintesi dei risultati della prova sonica condotta sulla muratura della facciata	246

ALLEGATI

Tabella 1 – Prova sonica SB-SO1. Risultati ottenuti per ogni punto di prova	249
Tabella 2 – Scheda riepilogativa 1: Prove soniche per trasparenza SB-SO1	250
Tabella 3 – Valori ottenuti dalla prova SB-J1S	251
Tabella 4 – Valori di ripristino calcolati con la prova SB-J1S	251
Tabella 5 – Modulo elastico e coefficiente di dilatazione trasversale ottenuti dalla prova SB-J1S	252
Tabella 6 – Prova sonica SB-SO2. Risultati ottenuti per ogni punto di prova	253
Tabella 7 – Scheda riepilogativa 2: Prove soniche per trasparenza SB-SO2	254
Tabella 8 – Valori ottenuti dalla prova SB-J3S	255
Tabella 9 – Valori di ripristino calcolati con la prova SB-J3S	256
Tabella 10 – Modulo elastico e coefficiente di dilatazione trasversale ottenuti dalla prova SB-J3S	257
Tabella 11 – Scheda riassuntiva 3: Prova sonica per trasparenza SB-B-S1-3	258
Tabella 12 – Scheda riassuntiva 4: Prova sonica per trasparenza SB-B-S2-4	259
Tabella 13 – Scheda riassuntiva 5: Media delle velocità tra le traiettorie delle prove SB-B-S1-3 e SB-B-S2-4	260
Tabella 14 – Scheda riassuntiva 6: Prova sonica per trasparenza SB-C-S1-3	261
Tabella 15 – Scheda Riassuntiva 7: Prova sonica per trasparenza SB-C-S2-4	262
Tabella 16 – Scheda riassuntiva 8: Media dei valori delle prove soniche SB-C-S1-3 e SB-C-S2-4	263
Tabella 17 – Scheda riassuntiva 9: Prove soniche per trasparenza SB-D-S1-3	264
Tabella 18 – Scheda riassuntiva 10: Prove soniche per trasparenza SB-D-S2-4	265
Tabella 19 – Scheda riassuntiva 11: Media dei valori delle prove soniche per trasparenza SB-D-S1-3 e SB-D-S2-4	266
Tabella 20 – Scheda riassuntiva 12: prova sonica per trasparenza SB-E-S1-3	267
Tabella 21 – Scheda riassuntiva 13: prova sonica per trasparenza SB-F-S1-3	268
Tabella 22 – Scheda riassuntiva 14: prova sonica per trasparenza SB-G-S1-3	269
Tabella 23 – Scheda riassuntiva 15: prova sonica per trasparenza SB-G-S2-4	270
Tabella 24 – Scheda riassuntiva 16: medie delle prove soniche SB-G-S1-3 e SB-G-S2-4	271
Tabella 25 – Valori ottenuti dalla prova SB-J3S	272
Tabella 26 – Valori di ripristino calcolati con la prova SB-J3S	273
Tabella 27 – Scheda riassuntiva 17: prova sonica per trasparenza SB-H-S1-3	274
Tabella 28 – Scheda riassuntiva 18: Prova sonica di trasparenza SB-H-S2-4	275

Tabella 29 – Scheda riassuntiva 19: Media dei valori sonici ottenuti con le prove di trasparenza SB-H-S1-3 e SB-H-S2-4	274
Tabella 30 – Valori ottenuti dalla prova SB-J4S	277
Tabella 31 – Valori di ripristino calcolati con la prova SB-J46	278
Tabella 32 – Scheda riassuntiva 20: prova sonica per trasparenza SB-I-S1-3	279
Tabella 33 – Scheda riassuntiva 21: prova sonica per trasparenza SB-I-S2-4	280
Tabella 34 – Scheda riassuntiva 22: Medie dei valori ottenuti dalle prove soniche per trasparenza SB-I-S1-3 e SB-I-S2-4	281
Tabella 35 – Prova sonica OSG-SO5. Risultati ottenuti per ogni punto di prova	282
Tabella 36 – Scheda riassuntiva 23: Prova sonica per trasparenza OSG-SO5	283
Tabella 37 – Prova sonica OSG-SO2. Risultati ottenuti per ogni punto di prova	284
Tabella 38 – Scheda riassuntiva 24: Prova sonica per trasparenza OSG-SO5	285
Tabella 39 – Prova sonica OSG-SO1. Risultati ottenuti per ogni punto di prova	286
Tabella 40 – Scheda riassuntiva 25: Prove soniche per trasparenza OSG-SO2	287
Tabella 41 – Prova sonica OSG-SO4. Risultati ottenuti per ogni punto di prova	288
Tabella 42 – Scheda riassuntiva 26: Prove soniche per trasparenza OSG-SO4	289
Tabella 43 – Prova sonica OSG-SO3. Risultati ottenuti per ogni punto di prova	290
Tabella 44 – Scheda riassuntiva 27: Prove soniche per trasparenza OSG-SO3	291