



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI GUGLIELMO MARCONI

FACOLTÀ DI SCIENZE E TECNOLOGIE APPLICATE

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CIVILE

MONITORAGGIO STRUTTURALE – APPLICAZIONE AD EDIFICI
STORICI DEL COMUNE DE L'AQUILA

Relatore:

Chiar. ^{mo} Prof. ERNESTO GRANDE

Candidato:

CESARE DI CINTIO

ANNO ACCADEMICO

2017/2018

INDICE		
INTRODUZIONE		II
INDICE		V
1 IL PATRIMONIO EDILIZIO ITALIANO		
1.1	Il Censimento Del 2001	1
1.2	La Muratura	3
1.3	Gli Edifici in Muratura	4
1.4	I Dissesti Statici	7
1.5	Il Comportamento Sismico	10
1.6	Interventi di Consolidamento	13
2 DIAGNOSTICA STRUTTURALE		
2.1	Metodi Meccanici non Distruttivi	27
2.2	Metodi Acustici non Distruttivi	35
3 IL SISMA DE L'AQUILA		
3.1	Il Sisma del 6 Aprile 2009	44
3.2	Il Bacino de l'Aquila	47
3.3	Sismicità della valle dell'Aterno	50
3.4	I dati sulla Ricostruzione	51
4 IL MONITORAGGIO STRUTTURALE		
4.1	Fasi del Monitoraggio	55
4.2	Tipologie di Monitoraggio	59
4.3	Sistemi di Monitoraggio	61
5 CASI APPLICATIVI DEL MONITORAGGIO STRUTTURALE		
5.1	Chiesa di San Marco	71

5.2	Basilica di San Giuseppe Artigiano	79
5.3	Forte Spagnolo	85
5.4	Chiesa di San Silvestro	93
5.5	Torre Civica	96
5.6	Chiesa di Sant'Agostino	99
CONCLUSIONI		102
RINGRAZIAMENTI		104
BIBLIOGRAFIA		106

ABSTRACT

L'elaborato di tesi affronta l'argomento del monitoraggio strutturale e la sua applicazione ad alcuni edifici storici de L'Aquila danneggiati recentemente dal sisma del 2009.

Nel lavoro sono stati esaminati quei beni che si sono ritenuti più importanti sotto il profilo ingegneristico, essendo stati interessati oltre che dal recente sisma del 2009 (caratterizzato da una magnitudo momento di 6.3), anche dai sismi del 1461 (6.5 Mw) e del 1703 (6.8 Mw). È stato scelto proprio il sisma de L'Aquila in quanto esso ha prodotto un quadro di danneggiamento confrontabile con quello di terremoti molto più importanti, causa da imputare sia alla qualità delle costruzioni che ai depositi relativamente giovani del bacino aquilano che, caratterizzati da una bassa densità, generano fenomeni di amplificazione sismica.

La chiesa di San Marco è stata la terza costruzione rimasta danneggiata per gravità, in seguito al sisma del 2009. Ha subito dei danni che hanno portato alla luce la completa mancanza di ammorzamento delle murature, dovuto probabilmente alla costruzione delle stesse in due fasi costruttive differenti, difatti vi è stato il ribaltamento di un'ampia porzione di massa muraria perimetrale e il collasso della cupola. Per controllare il comportamento delle lesioni principali è stato installato un sistema di monitoraggio automatico che, su base oraria, registra automaticamente gli spostamenti correlandoli con la variazione di temperatura. Dai dati analizzati si evince che vi è una 'discreta' stazionarietà nel comportamento delle lesioni monitorate, in quanto durante il periodo di osservazione si sono registrati alcuni movimenti non dipendenti dalla variazione di temperatura.

Anche la Basilica di San Giuseppe ha sofferto molti danni subendo il collasso del timpano e lesioni diffuse sulle murature. Vi è stato installato un sistema di monitoraggio automatico e rappresenta ad oggi una delle poche, e l'unica dei casi esaminati, ad essere stata ristrutturata e riaperta al pubblico dal 2012. Ultimamente è stata elevata di rango da Papa Francesco come 'Basilica Minore'. L'intervento di restauro ha comportato lo smontaggio del tetto in C.A. e la costruzione di un nuovo tetto più leggero in legno, avendo cura di realizzare prima dei cordoli in muratura armata previo consolidamento dei muri sottostanti, con iniezioni di malta di calce e apposizione di catene metalliche a più livelli.

Si è ritenuto importante trattare anche il Forte Spagnolo, una fortezza de L'Aquila del Cinquecento, che ha riportato seri danni, tali da pregiudicarne la stabilità strutturale. Si sono generati meccanismi di ribaltamento delle

murature perimetrali, lesioni di taglio nelle murature interne ed esterne, collasso di solai: resta tutt'ora inagibile essendo bloccati i lavori di ristrutturazione. Il sistema di monitoraggio installato, volto al controllo del quadro lesivo della struttura, non mostra, fortunatamente, una progressione del dissesto.

La chiesa di San Silvestro, la chiesa di Sant'Agostino e la Torre Civica presentano gli stessi danni dovuti principalmente al medesimo fenomeno distruttivo, il 'martellamento'. Durante il sisma del 2009 la chiesa di San Silvestro e la torre campanaria, edificata secoli dopo la costruzione della chiesa, si sono urtate l'una contro l'altra lesionandosi gravemente, discorso valido anche per la chiesa di Sant'Agostino e per la Torre Civica con la struttura adiacente. Le tre costruzioni risultano puntellate per garantire una sicurezza dal punto di vista statico e sono monitorate costantemente perché inagibili.

Il lavoro svolto ha consentito di evidenziare i principali vantaggi che possono essere attribuiti al monitoraggio strutturale per accertare la stabilità del danno, nonché garantire la sicurezza del cantiere durante gli interventi di consolidamento.

Risulta fondamentale il ruolo dell'Ingegnere Civile che deve stabilire il tipo di sensori da impiegare, il loro numero e la loro posizione nei punti strategici, per monitorare completamente la struttura contenendo il più possibile i costi senza pregiudicare la sicurezza.

BIBLIOGRAFIA

CAPITOLO 1: IL PATRIMONIO EDILIZIO ITALIANO

Fonte Istat – 14° Censimento generale della popolazione e delle abitazioni 2001

<http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/classificazione.wp>

[http://slideplayer.it/slide/3245138/11/images/8/Meccanismo+di+danno+del+primo+modo+\(A.+Borri\).jpg](http://slideplayer.it/slide/3245138/11/images/8/Meccanismo+di+danno+del+primo+modo+(A.+Borri).jpg)

<https://goo.gl/images/Soc4Pm>

Ulteriori testi di consultazione:

Corso di caratteri costruttivi dell'edilizia storica - Prof. Carlo Blasi Sistemi

Tecnologia e tecnica costruttiva delle murature antiche - la concezione strutturale degli organismi in muratura con riferimento al costruito storico - Dipartimento di Architettura, Costruzioni e Strutture (DACS)

Edifici esistenti in muratura: analisi del comportamento sismico e interventi di rinforzo, Prof. G. Magenes, Università di Pavia

Il comportamento delle strutture in muratura sotto sisma, meccanismi di danno, prof. Marini università di Bergamo

Analisi del Danneggiamento di Edifici situati nella zona sud del comune di Amatrice (RI): confronto pre e post sisma, G. Santarsiero, L. Chiauzzi, A. Masi, Università degli Studi della Basilicata, 24/08/2016

<http://www.ingegneri.info/news/strutture/il-comportamento-sismico-degli-edifici-in-muratura/>

<http://www.tafterjournal.it/2012/08/01/il-costruito-italiano-tipologie-problematiche-interventi-pre-e-post-sisma/>

<https://magazine.darioflaccovio.it/2015/09/02/adeguamento-sismico-edifici-in-muratura-interventi/>

<https://www.ingenio-web.it/3467-il-comportamento-sismico-delle-strutture-in-muratura>

CAPITOLO 2: DIAGNOSTICA STRUTTURALE

<http://www.infobuild.it/approfondimenti/indagini-diagnostiche-strutturali-conoscitive-su-murature/>

<http://www.diagnosistrutture.com/wp-content/uploads/2015/02/shove-test.jpg>

<http://www.provedicarico.it/martinetti-piatti-caratterizzazione-delle-murature/>

<http://www.comsigma.it/news/indagini-diagnostiche-su-muratura-e-prove-di-carico-pinacoteca-tosio-martinengo-bs-5853c1e9e0aa730a1735c7b4.html>

<http://www.indaginidiagnostiche.it/prove-materiali/prove-muratura/>

<http://www.benedettiandpartners.it/prove-sul-calcestruzzo.asp>

<http://www.solgeo.it/it/progetti/>

Ulteriori testi di consultazione:

Analisi e Interventi Strutturali su Edifici in Muratura secondo le

NTC 2008, Caratterizzazione meccanica delle murature

Università degli Studi di Genova, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Tecniche diagnostiche e loro analisi critica

Università La Sapienza, Durabilità delle costruzioni, indagini in sito e tecniche di consolidamento, Prof. Liberatore

Università di Potenza, Corso di Riabilitazione Strutturale, Strutture in muratura, Indagini e livelli di conoscenza Prof. Vona

Seconda Università degli Studi di Napoli, Corso di caratteri costruttivi dell'edilizia Storica, Indagini diagnostiche sul costruito storico: problematiche e prospettive

Università degli Studi di Genova, Prof. Riotto, Indagini sulla muratura e prove

Università di Bergamo, Prof Marini, Muratura Portante

Politecnico di Milano, Prof. Jurina, Caratterizzazione meccanica delle strutture

CAPITOLO 3: IL SISMA DE L'AQUILA

http://www.ingv.it/ufficio-stampa/stampa-e-comunicazione/Galleria-immagini/archivio-immagini-terremoti/photo_album.2010-04

28.5429963019/photoalbum_photo_view?b_start=2

http://www.lettera43.it/upload/images/05_2011/l43-110525141537_terreoto_aquila_aquila_big.jpg

<http://www.earthprints.org/bitstream/2122/5417/1/macroquaternario.pdf>

http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/Impaginato_MCZ_2010_parteI_II.pdf

<http://www.provincia.laquila.it/provincia.laquila.it/icons/uploads/indaginegeologica.pdf>

<http://sgi.isprambiente.it/sinkhole/tesi%20di%20stage/Daniela%20Ludovico.pdf>

<http://www.commissarioperlaricostruzione.it/Informare/Normative-e-Documenti/Atti-e-documenti-della-Struttura-Tecnica-di-Missione-STM/Ricostruzione-stato-di-attuazione-al-29-febbraio-2012-e-programmazione>

<http://www.rete8.it/cronaca/ricostruzione-laquila-al-via-i-lavori-a-s-agostino123/>

http://www.ilcentro.it/l-aquila/e-rinascere-anche-la-chiesa-di-san-silvestro1.171667?utm_medium=migrazione

<http://www.abruzzoweb.it/contenuti/ricostruzione-chiesa-san-marco-al-palo-rischio-ricorsi-contro-il-comune/566637-302/>

<https://www.bccsangro.it/index.php/prima-pagina/563-il-credito-cooperativo-per-labruzzo-5-milioni-per-la-ricostruzione-di-palazzo-margherita-e-della-torre-civica-dellaquila>

http://old.enea.it/eventi/eventi2011/MonitoraggioSisma_21-01-2011/CasarinF.pdf

<http://www.larqueologia.it/?p=91>

Ulteriori testi di consultazione:
Microzonazione sismica, Dipartimento della protezione civile

Risposta sismica locale, prof. G. Lanzo, corso di Geotecnica,
Università di Roma La Sapienza

Effetti locali sisma l'Aquila, prof. A. Spizzuoco, Università di
Napoli Federico II

Geologia applicata, Terremoto l'Aquila, prof. A. Santo,
Università di Napoli Federico II

CAPITOLO 4: IL MONITORAGGIO STRUTTURALE

<https://blog.volpescase.it/sopraelevazioni-soluzioni-ampliare-la-tua-casa/>

<https://www.lavorincasa.it/cedimento-delle-fondazioni-di-casa/>

http://old.enea.it/eventi/eventi2011/MonitoraggioSisma_21-01-2011/CasarinF.pdf

<http://www.fessurimetri.it>

https://www.indaginistrutturali.it/monitoraggio_tradizionale.html

https://www.pizzi-instruments.it/termometri_sensori_di_temperatura/

<http://www.capetti.it/index.php/ecommerce/articolo/200;>

<https://www.luchsinger.it/accelerometro-monoassiale-dytran-3192a-sensibilita-1-vg/>

Ulteriori testi di consultazione:

Monitoraggio delle amministrazioni aggiudicatrici sull'attività dell'operatore economico nei contratti di partenariato pubblico privato

Indicazioni metodologiche e operative per il monitoraggio VAS,
prof. Eliot Laniado, Elisa Amodeo, Silvia Vaghi, Enrica Zucca
(Poliedra, politecnico di Milano)

Convegno di Monitoraggio e controllo, Università di Padova,
sede di Vicenza, prof. Ing. Giacinto Porco

Monitoraggio strutturale attraverso prove statiche e dinamiche,
Prof. B. Calandrino, M. Di Paola, A. Pirrotta, B. Villa

Monitoraggio dinamico e modellazione strutturale per la
valutazione del comportamento sismico di Castelvecchio,
Verona, prof. Rosa Valluzzi

Sicurezza del patrimonio edilizio, Prof. Ing. Claudio Modena

Monitoraggio Strutturale, Ing. Giorgio Sforza Ing. Luca
Sbaraglia

CAPITOLO 5: CASI APPLICATIVI DEL MONITORAGGIO STRUTTURALE

http://old.enea.it/eventi/eventi2011/MonitoraggioSisma_21-01-2011/CasarinF.pdf

<https://versolaquila.wordpress.com/le-immagini-primadopo/chiesa-san-marco-di-s-caresta/>

[https://it.wikipedia.org/wiki/Chiesa_di_San_Marco_\(L'Aquila\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Chiesa_di_San_Marco_(L'Aquila))

<https://www.flickr.com/photos/regionedelveneto/3883170405/sizes/z/>

<https://www.flickr.com/photos/regionedelveneto/3883168127>

<http://www.culturaebeni.it/home/lista-monumenti/13-chiesa->

san-marco.html

https://it.wikipedia.org/wiki/Basilica_di_San_Giuseppe_Artigiano

<http://www.giovannigasparro.com/sp.php?p=272>

<http://www.lct-architettura.it/Restauro/&id=89>

https://it.wikipedia.org/wiki/Forte_spagnolo

http://www.ansa.it/documents/1241174231389_11_AQ_S.Silvestro.pdf

<http://www.spaziovidio.it/medievale/HTML/cartina/silvestro.html>

[https://it.wikipedia.org/wiki/Chiesa_di_San_Silvestro_\(L%27Aquila\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Chiesa_di_San_Silvestro_(L%27Aquila))

[https://it.wikipedia.org/wiki/Torre_civica_\(L%27Aquila\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Torre_civica_(L%27Aquila))

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Torre_civica.jpg

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Torre_civica.JPG

[https://it.wikipedia.org/wiki/Chiesa_di_Sant%27Agostino_\(L%27Aquila\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Chiesa_di_Sant%27Agostino_(L%27Aquila))

<http://www.cassiciaco.it/navigazione/monachesimo/chiese/italia/abruzzo/aquila>

<http://www.larqueologia.it/?p=91>

Ulteriori testi di consultazione:

Linee guida per la tutela dei beni culturali ecclesiastici, CEI, Ministero dei Beni e delle attività Culturali e del Turismo Rete della Cultura Abruzzese, le chiese medievali de l'Aquila

Sisma in Abruzzo, il Recupero, Antonella Mosca

Vari articoli di giornale nazionali e locali