



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura

Dottorato di ricerca XXXII ciclo | Sezione C | Restauro

Coordinatore: prof. Emanuela Chiavoni

Supervisore: prof. Donatella Fiorani

Co-Supervisore: arch. Elisabetta Giorgi

Dottoranda: Chiara Porrovecchio

TESI DI DOTTORATO:

**LA DIAGNOSTICA PER GLI EDIFICI STORICI
NELL'EMERGENZA SISMICA**

*Una proposta di metodo finalizzata alla conoscenza e alla definizione di
buone pratiche operative*

INDICE

INTRODUZIONE	6
CAPITOLO 1 – LA DIAGNOSTICA PER LA CONSERVAZIONE DEI BENI ARCHITETTONICI: STATO DELL’ARTE	10
1.1 Inquadramento storico del rapporto tra scienza e restauro e sua evoluzione nel tempo	10
INSERTO: Diagnostica per l’architettura	18
1.2 Diagnostica e tecnologie	67
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	68
CAPITOLO 2 – LA DIAGNOSTICA E L’EMERGENZA SISMICA: DEFINIZIONE DI BUONE PRATICHE	73
2.0 Introduzione	73
2.1 Dal rilievo del danno al progetto diagnostico	76
2.1.1 Il rilievo del danno	77
2.1.1.1 Scheda per il rilievo del danno ai beni culturali, Chiese Modello A-DC	78
2.1.1.2 Scheda per il rilievo del danno ai beni culturali, Palazzi Modello B-DP	90
2.1.1.3 Scheda di primo livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell’emergenza post-sismica, AeDES	106
2.1.2 La diagnostica per le Chiese e i Palazzi colpiti dal sisma	113
2.1.2.1 Controllo della qualità costruttiva	114
2.1.2.2 Diagnostica e meccanismi di collasso	143
LINEE GUIDA PER L’APPLICAZIONE DELLE TECNICHE DIAGNOSTICHE IN PRESENZA DI MECCANISMI DI COLLASSO	144
2.1.3 La diagnostica per l’edilizia storica diffusa colpita dal sisma	157
2.1.3.1 Allegato materico-diagnostico alla scheda AeDES	159

SCHEDA ALLEGATO DI APPROFONDIMENTO MATERICO-DIAGNOSTICO	165
2.1.3.2 Allegato materico-diagnostico alla scheda AeDES :	
Normativa di compilazione	170
2.1.3.3 Ricadute dell'uso dell'allegato materico-diagnostico	208
2.2 Diagnostica e recupero delle macerie	210
2.2.1 La Direttiva MiBACT del 12/09/16: rimozione e recupero delle macerie	210
2.2.2 Ipotesi per la creazione di banche dati GIS based dei materiali della tradizione costruttiva locale	212
2.3 Droni e robot per le emergenze	219
2.3.1 Droni: esperienze acquisite e potenzialità future	219
2.3.2 Robotica per i beni culturali in emergenza sismica	223
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	226
RIFERIMENTI NORMATIVI	233
CAPITOLO 3 – GLI EVENTI SISMICI DEL 2016 E 2017 NEL CENTRO ITALIA	234
3.0 Introduzione	234
3.1 Gli eventi sismici: la sequenza dall'agosto 2016 al gennaio 2017	235
3.1.1 Sisma del 24 agosto 2016	235
3.1.2 Sismi del 26 ottobre 2016	235
3.1.3 Sisma del 30 ottobre 2016	235
3.1.4 Sismi del 18 e 19 gennaio 2017	236
3.2 Principali danni a seguito degli eventi sismici	242
3.2.1 Principali danni nel Lazio	245
3.2.2 Principali danni nelle Marche	246
3.2.3 Principali danni in Umbria	246

3.2.4	Principali danni in Abruzzo	247
3.2.5	Definizione dell'ambito territoriale di interesse	248
3.3	Storia sismica del territorio di Amatrice	262
3.4	Caratteristiche morfologiche e litologiche del territorio di Amatrice	266
	RIFRIMENTI BIBLIOGRAFICI	274

CAPITOLO 4 – BUONE PRATICHE DELLA DIAGNOSTICA NEL CONTESTO DELL'EMERGENZA: SPERIMENTAZIONE NEL TERRITORIO AMATRICIANO 276

4.0	Introduzione	276
-----	--------------	-----

4.1	Modello di indagine diagnostica speditiva: sperimentazione nel territorio amatriciano	277
-----	---	-----

4.1.1	Cenni storici sui centri urbani di Amatrice e delle sue frazioni oggetto di sopralluogo.	280
-------	--	-----

4.1.2	Organizzazione dei sopralluoghi nelle frazioni di Amatrice	284
-------	--	-----

4.1.3	Caratterizzazione a vista delle murature	287
-------	--	-----

4.1.4	Analisi a vista delle malte di finitura superficiale e degli intonaci storici	302
-------	---	-----

4.1.5	Strutture lignee	305
-------	------------------	-----

4.1.6	Elementi notevoli e caratteristici dell'architettura locale	307
-------	---	-----

	VALIDAZIONE DELL'AMD SU TRE CASI STUDIO A CORNILLO NUOVO, CAPRICCHIA E PRETA	318
--	---	-----

4.2	Caratterizzazione delle malte del territorio amatriciano	340
-----	--	-----

4.2.1	Stima della resistenza, campionamento delle malte e lavorazione dei campioni	340
-------	--	-----

4.2.2	Iter analitico per la caratterizzazione e risultati delle indagini	341
-------	--	-----

4.2.3	Interpretazione storico-geografica delle lavorazioni delle malte	345
-------	--	-----

4.2.4	Indicazioni sulle azioni future	348
-------	---------------------------------	-----

	RELAZIONE TECNICA SULLA CARATTERIZZAZIONE DELLE MALTE NEGLI EDIFICI STORICI DEL TERRITORIO DI AMATRICE	351
--	---	-----

CAPITOLO 5 – BUONE PRATICHE DELLA DIAGNOSTICA NEL CONTESTO DEL DEPOSITO MACERIE: SPERIMENTAZIONE SULLE MACERIE PROVENIENTI DALLA CHIESA DI S.AGOSTINO AD AMATRICE	397
5.0 Introduzione	397
5.1 Proposte per la catalogazione delle macerie in deposito	398
5.2 Finalità degli studi diagnostici nei depositi	402
5.3 Caso studio: macerie dalla chiesa di S. Agostino di Amatrice: catalogazione e campagna diagnostica in situ	403
5.3.1 Breve storia costruttiva della Chiesa di Sant’Agostino e dinamica dei crolli a partire dal 24 agosto 2016	404
5.3.2 Le macerie del portale e del rosone della Chiesa di Sant’Agostino: la catalogazione in deposito	408
5.3.3 Primi riscontri a seguito della catalogazione e delle indagini diagnostiche condotte sulle macerie del portale della chiesa di Sant’Agostino ad Amatrice	439
5.3.4 Primi riscontri a seguito della catalogazione e delle indagini diagnostiche condotte sulle macerie del rosone della chiesa di Sant’Agostino ad Amatrice	443
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	447
RIFERIMENTI NORMATIVI	448
FONTI D’ARCHIVIO	448
CONCLUSIONI	449

RINGRAZIAMENTI

Questo lavoro è stato portato avanti e concluso grazie all'aiuto, alla collaborazione preziosa e alla vicinanza umana di molte persone che a vario titolo hanno saputo indirizzarmi, consigliarmi e incoraggiarmi nell'esperienza unica e irripetibile del mio dottorato di ricerca.

Vorrei ringraziare sentitamente la mia Tutor, prof. Donatella Fiorani, che mi ha seguito in questa ricerca e nella precedente esperienza di tesi di specializzazione, rinnovandomi la sua fiducia e stima, pienamente corrisposte. Colgo l'occasione per ringraziarla anche per avermi sempre coinvolto nelle attività didattiche, dandomi numerose occasioni di grande crescita personale, esperienziale e culturale.

La ringrazio inoltre per avermi introdotta a dialogare e collaborare con l'arch. Elisabetta Giorgi, che mi ha trasferito un metodo di lavoro e di interpretazione dei dati diagnostici che mi rende oggi consapevole e in grado di rapportarmi con le varie professionalità del mondo del restauro architettonico. Senza gli insegnamenti e le esperienze condotte in affiancamento ad Elisabetta Giorgi non sarei stata altrettanto serena nell'affrontare un tema di dottorato tanto attuale quanto complesso.

Ringrazio tutto il Collegio di Dottorato, che ha seguito gli sviluppi di questa ricerca dalle prime ipotesi di lavoro alla conclusione, in particolar modo ringrazio i proff. Maurizio Caperna, Fabrizio De Cesaris e Adalgisa Donatelli per il particolare interesse mostrato.

Ringrazio il prof. Francesco Doglioni, con il quale ho avuto la fortuna di confrontarmi personalmente in questo lavoro di ricerca e che ha saputo fornirmi numerosi spunti di riflessione.

Un doveroso ringraziamento va all'UCCR-Lazio, in particolar modo alle persone che hanno reso possibili e seguito da vicino le mie attività di ricerca sul campo: il dr. Alessandro Betori, l'arch. Cristina Colletti e l'arch. Alessandra Di Matteo.

Ringrazio per il supporto tecnico e per la grande disponibilità dimostrata la prof. Laura Corda e la dr.ssa Aida Maria Conte del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università "La Sapienza" di Roma; il prof. Luca Lozzi, il dr. Lorenzo Arrizza e la dr.ssa Maria Giammatteo del Centro Microscopie dell'Università degli Studi dell'Aquila.

Un sentito ringraziamento, per la loro vicinanza e l'affetto dimostratomi, va ai miei colleghi di dottorato, in particolar modo alla mia amica di vecchia data Marta Lo Russo, e alle nuove conoscenze Annarita Martello, Elisabetta Montenegro, Francesca Pinci, Luciano Scuderi, Maria Esther Vallejo Gavonel. Un grazie speciale per i suoi consigli va a Silvia Cutarelli.

Ringrazio di cuore la mia famiglia tutta; i miei genitori per il supporto morale e materiale nell'accudimento dei miei figli in momenti di grande carico di lavoro; mio marito per l'incoraggiamento a perseguire questa strada e per il supporto alla gestione quotidiana di casa e famiglia; i nostri due cuccioli per il sorriso regalatomi quotidianamente e per la loro comprensione nei confronti di una mamma spesso troppo indaffarata, alla quale hanno saputo dare amore infinito, nella loro meravigliosa innocenza e gioia di vivere.

A loro dedico la mia vita e questo lavoro.

INTRODUZIONE

L'oggetto di studio della diagnostica è la materia costitutiva dei beni culturali. Uno studio diagnostico completo fornisce informazioni relative alla caratterizzazione chimico-fisica della materia e delle sue caratteristiche meccaniche, all'identificazione dei processi di degrado, all'interazione tra manufatto e ambiente di conservazione, alla produzione dei singoli materiali componenti e alla costruzione del bene culturale. I risultati dello studio diagnostico si interconnettono con tutte le altre azioni rivolte alla conservazione del bene, in particolare negli interventi di restauro lo studio diagnostico-conoscitivo consente di scegliere opportunamente i materiali più idonei. L'intervento stesso può essere monitorato nel tempo con approccio diagnostico in modo da controllarne l'efficacia ed evidenziare eventuali effetti collaterali non previsti. Questo continuo scambio con la disciplina del restauro e, in generale, con l'intero settore della conservazione dei beni culturali, dai beni pittorici o scultorei a quelli archeologici, archivistici e architettonici, rende la diagnostica un settore multidisciplinare. La multidisciplinarietà non risiede solo nell'interazione con le diverse discipline che si occupano dei beni culturali, ma è anche interna al metodo d'indagine, dato il vasto insieme delle tecniche diagnostiche mutate da più settori scientifici come la chimica, la biologia, la fisica, la geologia e l'ingegneria. La campagna diagnostica è quindi un progetto complesso che definisce, a seconda delle caratteristiche del bene da indagare e alle criticità evidenziate, l'insieme di indagini preliminari al restauro e quelle relative al monitoraggio durante e dopo gli interventi. Tale progetto non ha autonomia operativa e deve sempre essere calibrato e coordinato con il resto delle azioni rivolte alla conservazione del bene. A livello internazionale la figura professionale dell'esperto in diagnostica dei beni culturali è chiamata *conservation scientist*¹. La denominazione possiede al suo interno il concetto di conservazione, che è l'obiettivo della disciplina, e il concetto di scienza che è il metodo di approccio al problema conservativo. Il metodo scientifico si fonda sulla chiara definizione di ipotesi preliminari al progetto di indagine e sulla successiva misurazione oggettiva delle grandezze in gioco, con l'obiettivo di confermare o confutare l'ipotesi iniziale. Nel *report* d'indagine occorre

¹ In base al DM 244 del 20/05/2019 del MiBACT che istituisce gli elenchi nazionali dei professionisti dei beni culturali, l'esperto in diagnostica dei beni culturali si occupa di:

- Analizzare e documentare la materia costitutiva e il degrado dei beni culturali
- Progettare o collaborare alla progettazione degli interventi conservativi o conoscitivi sui beni culturali
- Dirigere laboratori e curare iniziative sulla diffusione delle tecnologie collegate ai beni culturali.
- Svolgere attività di studio, ricerca e formazione ed educazione nel campo della diagnostica dei beni culturali e delle discipline affini e collegate.

La candidata è anch'essa una *conservation scientist*. Laureata in Scienze Applicate ai Beni Culturali presso la Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali dell'Università di Roma La Sapienza, e Specialista in Restauro dei Beni Architettonici e del Paesaggio, titolo conseguito presso la Scuola di Specializzazione della Facoltà di Architettura dell'Università di Roma La Sapienza.

fornire tutti i dati relativi al processo metodologico, al fine di rendere replicabile la sperimentazione. Durante il processo, finalizzato alla valutazione dello stato conservativo, emergono comunque molte informazioni di carattere puramente conoscitivo del bene che, in quanto portatore di valore culturale, merita di essere dettagliatamente controllato in ogni aspetto della sua consistenza materiale.

Tutto questo avviene spesso in situazioni ordinarie, molto meno in contesti emergenziali, come quello del post-sisma, in cui si tende a ridurre le indagini a quelle strettamente valutative delle condizioni di stabilità degli edifici storici. Il motivo alla base di queste scelte è probabilmente legato alla complessità già descritta del progetto diagnostico-conoscitivo, che ha bisogno di tempo sia per essere elaborato che per essere effettuato. Anche i risultati delle indagini necessitano di un tempo di elaborazione dei dati talvolta consistente, mentre in emergenza la prontezza delle risposte assume una grande importanza. Tuttavia, in un contesto emergenziale si aprono delle possibilità d'indagine che normalmente sono difficilmente realizzabili. I danni subiti dagli edifici, per esempio, lasciano scoperte e indagabili zone generalmente non esposte, per cui l'indagine diretta risulterebbe estremamente difficile se non impossibile. Peraltro, crolli estesi che determinano l'irrecuperabilità dei materiali, o comunque la necessità di un loro spostamento temporaneo, aprono a maggiori possibilità di osservazione e campionamento.

Il presente studio è finalizzato quindi all'individuazione di buone pratiche operative per permettere l'applicazione della diagnostica anche nella fase di gestione dell'emergenza, cogliendola come occasione di conoscenza dei materiali utilizzati nell'architettura storica. Le attività di ricerca si sono quindi focalizzate sulla ricognizione delle tecniche d'indagine utili alla conoscenza dell'architettura, sulla selezione di quelle che in tempi rapidi di esecuzione e di elaborazione dei dati possano fornire il massimo dell'informazione e sulle proposte metodologiche di applicazione all'interno delle fasi di gestione dell'emergenza.

La ricerca svolta si è avvalsa di fasi di sperimentazione delle metodologie proposte nell'ambito della gestione dell'emergenza sismica in centro Italia iniziata nell'agosto del 2016, volendo declinare lo studio diagnostico sia direttamente sugli edifici colpiti dal sisma che sui materiali trasportati nei depositi temporanei.

La ricerca condotta sull'evoluzione e sulla definizione della diagnostica per i beni culturali, assieme all'individuazione del suo ruolo nell'ambito del restauro e alla selezione e catalogazione strutturata delle tecniche utili allo studio e alla diagnosi dello stato conservativo dell'architettura storica, forniscono uno stato dell'arte aggiornato e specificatamente orientato all'ambito della conservazione dei beni immobili.

L'avanzamento degli studi testimonia l'importanza del ruolo che le indagini scientifiche hanno progressivamente conquistato nel processo di conoscenza alla base della conservazione, tanto da essere ad oggi sistematicamente adottate nella prassi del restauro.

Nello scenario post-sismico, però, si tende a ricorrere all'approfondimento diagnostico quasi sempre nelle fasi che precedono il restauro che sono ben lontane, a livello di tempistiche, dall'evento traumatico che ha prodotto i danni. È invece dimostrato come la tempestività dell'indagine sia di fondamentale importanza nel processo diagnostico per poter fornire una lettura chiara delle condizioni conservative.

Sarebbe quindi opportuno che le indagini scientifiche conoscitive venissero introdotte nel processo di conoscenza e diagnosi già dalle prime fasi di gestione dell'emergenza sismica. Va inoltre sottolineato il fatto che solo nelle prime fasi è possibile analizzare le condizioni di danno inalterate, la cui documentazione è preziosa in un'indagine scientifica.

Inoltre, seppure nella loro drammaticità, eventi traumatici come i terremoti si sono sempre rivelati come occasioni di studio e di conoscenza uniche e irripetibili che vale la pena di cogliere, soprattutto in vista delle successive azioni di restauro e ricostruzione.

Dal punto di vista normativo, non esistono riferimenti alle attività di approfondimento diagnostico, né procedure studiate per essere applicate in emergenza sismica. Pertanto, la presente ricerca si è posta come obiettivo la definizione di buone pratiche operative e procedurali relative all'intervento diagnostico in emergenza sismica.

Questo obiettivo principale raccoglie diverse finalità intermedie, che vanno dalla diagnosi dello stato di conservazione all'avanzamento delle conoscenze sui materiali e sulle tecniche costruttive degli edifici colpiti. In quest'ottica, l'intervento diagnostico in emergenza può fornire un contributo all'analisi dei danni prodotti dal sisma e alla stima della vulnerabilità degli edifici in funzione dei materiali impiegati nella costruzione, del loro stato di conservazione, del loro degrado anche pregresso e delle tecniche costruttive adottate.

Individuare quanto prima tali vulnerabilità può consentire una pianificazione degli interventi di messa in sicurezza in grado di minimizzare i potenziali rischi di esposizione ad ulteriori danneggiamenti in caso di sequenze sismiche protratte nel tempo, con repliche anche di notevole intensità, come l'esperienza del terremoto in centro Italia tra il 2016 e il 2017 ha insegnato.

Una sistematica applicazione delle analisi scientifiche di approfondimento diagnostico favorirebbe inoltre un grande avanzamento delle conoscenze sull'architettura storica delle zone colpite. In

particolar modo, ne trarrebbe giovamento la conoscenza del tessuto edilizio storico diffuso, il quale è di base meno conosciuto e studiato, anche nei suoi aspetti materici, rispetto ai beni monumentali. La mancata conoscenza del valore documentale e identitario del tessuto edilizio diffuso indebolisce la tutela e, talvolta, porta alla totale distruzione del patrimonio, prima dovuta ai dissesti sismici e poi alle demolizioni affrettate.

Il centro storico di Amatrice, a meno di due anni dalla prima scossa di terremoto, era già praticamente del tutto scomparso. Il sisma del 24 agosto 2016 aveva prodotto danni molto gravi sull'edilizia storica, la quale è stata demolita senza lasciare neanche il tempo necessario alla documentazione approfondita di quanto prodotto dal sisma, peraltro senza che se ne sia tratto alcun vantaggio sulla rapidità dei processi di ricostruzione. Ad oggi rimangono soltanto alcuni resti di chiese e di altri edifici tutelati a testimonianza della storia della città.

Con l'obiettivo, quindi, di contribuire anche alla sensibilizzazione delle comunità e delle amministrazioni locali, si è voluto elaborare una serie di proposte per l'integrazione dell'iter gestionale dell'emergenza sismica, a partire dalle fasi di rilievo del danno e della messa in sicurezza fino alla rimozione e gestione delle macerie.

CAPITOLO 1 – LA DIAGNOSTICA PER LA CONSERVAZIONE DEI BENI ARCHITETTONICI: STATO DELL'ARTE.

1.1 Inquadramento storico del rapporto tra scienza e restauro e sua evoluzione nel tempo.

Le prime applicazioni d'indagine scientifica sui materiali storici sono state condotte nell'ambito della ricerca archeologica. Nella temperie culturale illuministica i manufatti archeologici si trasformarono da fonte d'ispirazione per gli artisti a veri e propri oggetti di studio materiale quando l'archeologia iniziò ad affermarsi come disciplina autonoma e scientifica.

Johann Jhoachim Winkelmann, a partire dall'analisi figurativa delle statue classiche, gettò le basi per la definizione di stile, fornendo un metodo di lettura per la classificazione dei manufatti che diventò fondamentale per la storia dell'arte. D'altronde, anche i primi restauri architettonici modernamente intesi si diressero su monumenti archeologici, in Italia sulle rovine dell'antichità romana, in Francia sulle grandi cattedrali gotiche rovinata dalla rivoluzione e dalla successiva speculazione.

Il primo studio di natura archeometrica pubblicato risale a M.H Klaproth². Nel 1806 Klaproth pubblicò in lingua tedesca, con il collega Wolff, un Dizionario di Chimica, ispirato alle opere enciclopediche del tempo, dove raccolse i risultati delle analisi chimiche da lui condotte su un'innumerabile quantità di sostanze, dai minerali naturali, a molti acidi e solventi, ai primi prodotti industriali e alle leghe di monete greche e romane, nonché a vetri archeologici di epoca imperiale³. La pubblicazione fu da subito guardata con grande interesse dagli archeologi. La possibilità di caratterizzare chimicamente le leghe delle monete apriva interessanti strade per la datazione degli strati archeologici. Infatti, essendo le monete reperti quasi sempre rinvenuti negli scavi, una variazione nel tempo delle loro leghe composizionali poteva rappresentare un indicatore dell'epoca di interrimento, se non altro come *terminus post quem*.

Pochi anni dopo la pubblicazione di Klaproth, il famoso chimico inglese Humphry Davy⁴, condusse il primo studio di caratterizzazione dei pigmenti in occasione del restauro del celebre affresco delle Nozze Aldobrandine (DAVY 1815). Il metodo adottato da Davy fu il primo a carattere marcatamente

² M.H. Klaproth (1783-1835), Dottore in Filosofia, Consigliere al Collegio Supremo di Sanità, Professore di Chimica, Membro dell'Accademia delle Scienze di Berlino, Socio straniero dell'Istituto di Francia e di varie altre accademie scientifiche (MORETTI 1811).

³ MORETTI 1811.

⁴ H. Davy (1778-1829), Professore di chimica della Royal Institution di Londra, membro e presidente della Royal Society. Tra i suoi contributi scientifici più significativi si ricordano i primi esperimenti di separazione dei sali in ioni mediante tecniche elettrolitiche, svolti in collaborazione con Alessandro Volta, la scoperta dello Iodio e delle sue proprietà chimiche, i suoi studi sulle sostanze acide i quali, mettendo in crisi le teorie di Lavoisier, aprirono la strada alla successiva teoria sulle reazioni acido-base di Brønsted-Lowry.

multidisciplinare. Davy affrontò uno studio preventivo della trattatistica antica di Plinio e di Vitruvio da cui elaborò degli elenchi di possibili pigmenti utilizzati nell'affresco delle Nozze Aldobrandine. Conoscendo la composizione chimica dei pigmenti descritti negli antichi trattati formulò opportuni reagenti per l'individuazione delle specie mineralogiche prelevate in minime parti dalle superfici e ridotte in polvere. Indipendentemente dalle tecniche di laboratorio usate, ormai superate, la metodologia alla base dell'indagine è del tutto confrontabile con quella odierna.

A metà Ottocento, nell'elaborato conclusivo dei suoi studi presso l'Accademia Austriaca delle Scienze, il chimico J.E. Wocel teorizzò per la prima volta che le correlazioni tra composizioni chimiche potessero essere usate per stabilire la provenienza o identificare l'origine dei materiali archeologici e anche fornire datazioni relative alla produzione o all'uso dei manufatti stessi. Contemporaneamente C.C.T.C. Göbel, professore di chimica all'università di Dorpat in Estonia, iniziò a studiare un gran numero di manufatti archeologici realizzati in leghe del rame provenienti dalle regioni baltiche, confrontandone la composizione chimica con quella di artefatti di epoca preistorica, greca e romana⁵. Nell'esplicitare caratteristiche comuni e diversità elaborò un primo studio di tipo chemiometrico in cui sostanzialmente si definivano alcuni gruppi di correlazione ('clusters'), metodo ancora oggi in grande sviluppo nel campo della ricerca archeometrica⁶.

Sul fronte dei beni architettonici e del loro restauro, a partire da questo periodo in Francia si cominciò a considerare materiale di analisi le componenti lapidee dei monumenti storici, specie delle cattedrali; di queste si iniziò a indagare le caratteristiche chimiche, fisiche e mineralogiche, mentre le pratiche del restauro iniziano a coinvolgere le scienze chimiche industriali per il consolidamento delle superfici in pietra.

Emmanuel E. Viollet le Duc impiegò i primi silicati brevettati con il nome di "vetro liquido" per consolidare le pietre della Porte Royal della Cattedrale di Chartres nel 1858⁷. Sempre in Francia e negli stessi anni venne pubblicato il primo studio eseguito da un geologo mineralogista, A.A. Damour⁸, sulla caratterizzazione chimico-mineralogica delle pietre dei monumenti celtici della Bretagna⁹.

⁵ GOFFER 1980

⁶ "La chemiometria è la scienza che relaziona i dati risultanti dalle misure effettuate su un sistema chimico mediante l'applicazione di metodi matematici o statistici", definizione della International Chemiometrics Society (ICS).

⁷ FIORANI 2009, TOMASELLI 2013.

⁸ Augustin Alexis Damour (1808-1902) fu un noto geologo e mineralogista che dedicò la sua ricerca alla catalogazione e scoperta di nuove specie mineralogiche. In qualità di presidente della Société géologique de France lavorò molto al dialogo interdisciplinare tra archeologi e geologi.

⁹ DAMOUR 1865

Ben presto l'approccio scientifico allo studio dei materiali lapidei dei monumenti, finalizzato alla produzione di sostanze di sintesi per la loro conservazione, si diffuse in tutta Europa. Anche Camillo Boito scrisse a proposito delle recenti acquisizioni nel campo:

“i restauratori già chiamano in aiuto la chimica, provando l'azione di fluosilicati sui marmi, adottando l'ossicloruro di zinco per le stuccature, tentando l'uso della vaselina, un carburo di idrogeno, per trattenere la malefica influenza della salsedine”¹⁰.

Le esperienze maturate in questa prima fase pionieristica di sperimentazione sui monumenti portarono al riconoscimento unanime della necessità d'interazione fra i mondi della scienza e del restauro. Questa viene infatti evidenziata come punto (il quinto) della Carta di Atene del 1931:

“nelle condizioni della vita moderna i monumenti sono sempre più minacciati dagli agenti atmosferici. Per diminuire i rischi viene auspicata la massima collaborazione degli architetti con i rappresentanti delle scienze fisiche, chimiche e naturali”¹¹.

Tali indicazioni vennero accolte e ribadite anche nella Carta del Restauro Italiana del 1932, nella quale all'Art.9 si prescrive:

“Allo scopo di rinforzare la compagine stanca di un monumento e di reintegrare la massa, tutti i mezzi modernissimi possano recare ausili preziosi e sia opportuno valersene quando l'adozione di mezzi costruttivi analoghi agli antichi non raggiunga lo scopo; e che del pari, i sussidi sperimentali delle varie scienze debbano essere chiamati a contributo per tutti gli altri temi minuti e complessi di conservazione delle strutture fatiscenti, nei quali ormai i procedimenti empirici debbono cedere il campo a quelli rigidamente scientifici”¹².

L'ingresso dei metodi di natura fisica nel mondo dei beni culturali va di pari passo con le scoperte sull'elettromagnetismo. In effetti, anche oggi i metodi fisici utilizzati nello studio dei beni culturali sono quasi per intero rappresentati dalle tecniche spettroscopiche. Wilhelm Conrad Röntgen¹³, scopritore dei raggi X, intuì egli stesso l'utilità della loro applicazione allo studio dei dipinti. Röntgen scoprì casualmente i raggi X nel 1895 e da subito si dedicò alla ricerca per una loro applicazione in campo medico. Tuttavia, ne promosse la sperimentazione sui dipinti e, dopo due decenni, affidò la linea di ricerca al suo allievo C. Wolters, il quale pubblicò un intero volume sull'importanza della tecnica radiografica per la storia dell'arte, che raccoglieva numerose esperienze condotte in più di un

¹⁰ BOITO 1893

¹¹ Carta del Restauro di Atene 1931, punto quinto.

¹² Carta del Restauro Italiana 1932, articolo 9.

¹³ Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923), fisico tedesco, professore di matematica e fisica alle Università di Strasburgo (1874-1879), all'Università di Gießen dal (1879-1881), all'Università di Würzburg (1881-1900), all'Università di Monaco (1900-1919). Ricevette il primo premio Nobel per la fisica nel 1901 grazie alla sua scoperta della radiazione X.

decennio di ricerche¹⁴.

Nello stesso anno Piero Sampaolesi pubblicò i risultati delle indagini radiografiche condotte su due dipinti conservati presso la Galleria degli Uffizi di Firenze¹⁵. Come direttore tecnico del Laboratorio dei restauri della Galleria degli Uffizi, Sampaolesi impostò la metodologia d'indagine preliminare a ogni intervento, avvalendosi delle nuove tecniche scientifiche e tecnologie disponibili. Nel laboratorio venivano per la prima volta sistematicamente condotte indagini sui materiali delle opere mediante l'uso della microscopia ottica e la ripresa fotografica in luce visibile, radente, ultravioletta riflessa e in fluorescenza. È in questo periodo che Sampaolesi iniziò a studiare, presso il laboratorio da lui diretto, anche campioni provenienti da monumenti di Firenze, con tecniche fino a quel momento sperimentate solo per la caratterizzazione di beni culturali mobili (principalmente statue e dipinti)¹⁶. Sulla scorta di queste prime osservazioni scientifiche di laboratorio Sampaolesi fondò la sua ricerca sul tema della conservazione delle pietre in architettura¹⁷, applicando le conoscenze acquisite nel contesto di alcuni restauri da lui condotti¹⁸. Il Laboratorio dei Restauri della Galleria degli Uffizi di Firenze ebbe grande fortuna e influenza nell'ambiente della scienza applicata al restauro, ma non fu il primo laboratorio dotato di attrezzature e conoscenze scientifiche per lo studio dei materiali antichi. A livello internazionale, già nel 1888 i musei Statali di Berlino organizzarono un laboratorio di restauro all'avanguardia per le conoscenze scientifiche del tempo. Nel 1919 furono fondati i celebri laboratori del British Museum di Londra. Poco dopo, nel 1925, fu la volta del Louvre di Parigi. Nel 1930 nacque il *Conservation Center* del *Museum of Fine Arts* di Boston, nel 1931 quello del *Metropolitan Museum* di New York.

La fondazione in Italia dell'Istituto Centrale del Restauro, nel 1939, vide la collaborazione di Giulio Carlo Argan e Cesare Brandi, che ne fu direttore fino al 1959. L'Istituto fu immediatamente dotato di laboratori scientifici già suddivisi per ambiti disciplinari (chimica, fisica, biologia) nel preciso intento di fondare le pratiche del restauro su basi interdisciplinari, seguendo le indicazioni teoriche e

¹⁴ WOLTERS 1938. Altri studi ed esperimenti erano già stati condotti e pubblicati prima della monografia di Wolters (DEWILD 1897, CHÈRON 1920, LAURIE 1932, MARIANI 1937).

¹⁵ SAMPAOLESI 1938. Nel 1934 viene fondato il "Laboratorio dei Restauri" afferente alla Galleria degli Uffizi, per volontà di Giovanni Poggi, Sovrintendente all'Arte Medievale e Moderna di Toscana, e di Corrado Ricci, Direttore Generale della Galleria degli Uffizi. Da questi il giovane Ing. Piero Sampaolesi, già impiegato nella Soprintendenza di Firenze dal 1932, viene nominato Direttore Tecnico del neonato Laboratorio e vi rimane sino al 1943.

¹⁶ SPINOSA 2011

¹⁷ SAMPAOLESI 1959

¹⁸ Tra i cantieri di restauro diretti da Piero Sampaolesi nel contesto dei quali promosse l'indagine scientifica conoscitiva sui materiali lapidei e l'applicazione di consolidanti di sintesi sulle superfici architettoniche, vanno annoverati: Il Palazzo Bartolini Salimbeni a Firenze (1960-62), L'Arco di Alfonso di Aragona a Napoli (1962-64), La Loggia Rucellai e il Palazzo Rucellai a Firenze (1963-67), La Basilica di San Michele Maggiore a Pavia (1963-67) (SPINOSA 2011).

metodologiche definite da Brandi incardinate sul ruolo centrale della materia dell'opera d'arte¹⁹. Con la fondazione dell'ICR si consolidò il legame tra scienza e restauro che nei decenni precedenti era lentamente maturato anche a livello della gestione centrale della tutela italiana.

Nel 1956, con la fondazione di un altro importante istituto per la conservazione, l'ICCROM (Centro internazionale di studi per la conservazione ed il restauro dei beni culturali), l'archeometria è divenuto settore di ricerca condiviso sul piano internazionale. Fondato all'indomani della Seconda Guerra Mondiale, l'istituto promosse ulteriormente l'approccio interdisciplinare al tema della conservazione del patrimonio.

Stabilito il principio di lavoro interdisciplinare, la diagnostica per i beni culturali si arricchì di tecniche derivanti da ogni nuova scoperta in ambito scientifico. Soprattutto la fisica diede i maggiori contributi, in relazione alle grandi scoperte del Novecento sulla struttura della materia e sulle proprietà delle particelle sub-atomiche. Dagli anni '40 agli anni '70 vennero messe a punto e testate sui beni culturali le tecniche di datazione isotopica, quasi tutte le tecniche spettroscopiche per l'indagine della materia ancora oggi in uso, le più avanzate tecniche di microscopia e le metodologie di studio microclimatico degli ambienti di conservazione.

Lo sviluppo tecnologico consentì al mondo dell'archeometria d'istituire un dialogo sempre più serrato con il restauro architettonico, offrendo informazioni sempre più accurate sull'evoluzione nel tempo dell'uso dei materiali e delle tecniche costruttive del patrimonio monumentale. Gli studi si orientarono sulla ricostruzione della storia della cultura materiale, fornendo dati utili ai restauratori dell'architettura per l'interpretazione delle fasi storiche delle fabbriche e per la conoscenza specifica dei materiali utilizzati e delle tecniche di produzione.

In questo campo Tiziano Mannoni, docente e ricercatore presso le Università di Pisa e soprattutto di Genova e, si distinse particolarmente sviluppando linee di ricerca per l'applicazione del metodo e delle conoscenze scientifiche ai contesti archeologici e architettonici, fondando nel 1976 l'Istituto di storia della cultura materiale (ISCuM) di Genova. Nel 1985 fu, Guido Biscontin e Amedeo Bellini, tra gli organizzatori del primo convegno annuale di "Scienza e Beni Culturali"²⁰. Contemporaneamente si sviluppò una branca specialistica dedicata alla chimica del restauro, intesa come settore in grado di fornire soluzioni per il miglioramento delle condizioni conservative dei materiali antichi, in funzione delle loro caratteristiche e dei meccanismi di degrado e invecchiamento. Si deve infine ricordare l'apporto alla ricerca in questo ambito offerto da Giorgio Torraca, chimico consulente dell'ICR, dell'ICCROM e dei Musei Vaticani. Giorgio Torraca ebbe il grande merito di rafforzare il rapporto tra scienziati e umanisti grazie alla sua opera di divulgazione scientifica sulla

¹⁹ Per approfondimenti si rimanda a BON VALSASSINA 2006.

²⁰ BELLINI 1986; CUCUZZA, MEDRI 2006

chimica dei materiali impiegati nel restauro e sul loro uso appropriato²¹. Entro la fine degli anni '70 erano ormai già disponibili tutte le tecniche di indagine ancora in uso nel settore della diagnostica dei beni culturali, di cui si fornisce di seguito un quadro complessivo:

Dal settore della chimica:

- Metodologie classiche di separazione analitica delle sostanze
- Tecniche cromatografiche
- Saggi microanalitici
- Tecniche per la determinazione del pH
- Tecniche per la determinazione dei sali solubili
- Analisi Calorimetriche

Dal settore della fisica:

- Tecniche di microscopia ottica
- Tecniche di microscopia avanzata
- Tecniche spettroscopiche/spettrometriche/spettrofotometriche
- Tecniche di imaging
- Tecniche di datazione isotopica e a termoluminescenza
- Tecniche per il monitoraggio ambientale

Dal settore della biologia:

- Tecniche di determinazione delle specie microbiologiche patogene
- Tecniche tassonomiche di identificazione al microscopio dei tessuti biologici
- Tecniche di datazione per racemizzazione degli amminoacidi
- Tecniche di datazione dendrocronologiche

Dal settore della geologia/mineralogia:

- Tecniche di lettura petrografica dei materiali lapidei
- Tecniche di caratterizzazione mineralogica mediante l'uso della radiazione X

La rapida evoluzione delle scienze applicate allo studio e al restauro dei beni culturali si è successivamente diramata in due percorsi paralleli, uno dedicato all'affinamento metodologico della procedura analitica in funzione degli obiettivi perseguiti, l'altro all'aggiornamento delle tecnologie diagnostiche disponibili.

²¹ TORRACA 2009; TORRACA 2002; TORRACA, SETTE 2001; TORRACA 1981; TORRACA 1975.

Dopo la fase di pura sperimentazione delle tipologie utili all'indagine scientifica sui materiali antichi, è apparso fondamentale definire correttamente le metodologie analitiche. ICR e CNR istituirono in Italia nel 1977 la Commissione NorMaL (Normalizzazione Materiali Lapidari) allo scopo di giungere alla standardizzazione delle tecniche e delle procedure di analisi allo scopo di garantirne la correttezza e la comparabilità dei risultati. Tale commissione fu assorbita nel 1996 dall'Ente Nazionale Italiano di Unificazione (UNI) e affiancata a numerosi altri gruppi per la standardizzazione delle metodologie investigative per tutti i materiali costituenti i beni culturali²². La messa a punto d'impianti metodologici e di nuove strategie d'indagine si sviluppò inoltre attraverso i risultati prodotti dall'attiva partecipazione delle analisi diagnostiche a importanti progetti di restauro.

Per esempio, nei restauri susseguitisi nella Cappella degli Scrovegni di Padova dal 1964 al 2002 furono messe a punto nuove e raffinate metodologie relative a: individuazione delle specie saline affioranti sulle superfici o presenti al di sotto della pellicola pittorica; caratterizzazione stratigrafica delle malte; indagine colorimetrica delle superfici affrescate; studio microclimatico interno della fabbrica. Quest'ultimo portò alla definizione delle condizioni ambientali ottimali per la conservazione degli affreschi giotteschi, oggi assicurate dal Corpo Tecnologico Attrezzato di accesso²³. Un altro lungo restauro protratto dal 1979 al 2003 interessò i Bronzi di Riace. Anche in questo difficile e importante percorso conservativo la diagnostica ebbe un ruolo determinante e il restauro fu un laboratorio per la determinazione di numerose metodologie di indagine quali: l'analisi delle tecniche di esecuzione a cera persa dei grandi bronzi archeologici mediante gammagrafia; i metodi chimici di determinazione della cinetica delle reazioni di corrosione; le metodologie di analisi petrografica delle terre di fusione per la determinazione della provenienza; la determinazione del *range* di benessere microclimatico dei manufatti metallici mediante analisi per micro-condensazione capillare²⁴. Dal 1980 al 1992, inoltre, il restauro degli affreschi della Cappella Sistina fu il banco di prova per la messa a punto di tutte le principali metodologie di caratterizzazione dei pigmenti inorganici nonché dello studio delle ridipinture successive e delle patine prodotte dalla deposizione di materiali organici e carboniosi²⁵. Anche la campagna diagnostica effettuata dal 1981 al 1984 sulla scultura equestre del Marco Aurelio ha segnato una importante tappa nell'iter metodologico diagnostico per lo studio delle forme di degrado dei materiali metallici in relazione alle condizioni ambientali²⁶. Infine, il restauro

²² ALESSANDRINI 2011

²³ Per approfondimenti si rimanda a FABBRI COLABICH, PROSDOCIMI, SACCOMANNI 1964; ARTIOLI, MARABELLI, MEUCCI 1982; BASILE 2003; BIANCHETTI 2005; MARABELLI 2005

²⁴ Per approfondimenti si rimanda a BARTOLINI 2003; FIORENTINO 2003; LOMBARDI, BIANCHETTI, VIDALE 2003; MELLO 2003; FORMIGLI 1984; MANNONI 1984.

²⁵ Per approfondimenti si rimanda a COLALUCCI 1992; MANCINELLI 1992; DE VECCHI 1996; BURRAGATO, BALLARINO, MARAS 1999; SANTAMARIA 2014.

²⁶ Per approfondimenti si rimanda a MELUCCO VACCARO, SOMMELLA 1989.

della Basilica di S. Francesco ad Assisi dopo il terremoto umbro del 1997 ha rappresentato il primo grande intervento post-sismico nel quale la diagnostica ha avuto un ruolo decisivo, in combinazione con una delle prime applicazioni delle tecnologie digitali, per la ricomposizione dei frammenti degli affreschi coinvolti nei crolli²⁷.

Il percorso investigativo legato all'innovazione tecnologica della diagnostica sui beni culturali si è sviluppato a partire dagli scorsi anni '80. L'intenso sviluppo tecnologico degli ultimi decenni ha prodotto, fra l'altro, i microprocessori e la miniaturizzazione della componentistica elettronica (soprattutto la sensoristica), con la conseguente produzione di apparecchiature portatili anche in campo diagnostico e lo sviluppo di protocolli per la caratterizzazione e il monitoraggio dei materiali *in situ*. Lo sviluppo di *software* inizialmente dedicati all'elaborazione statistica dei dati in generale e poi alla gestione delle informazioni nell'ambito delle specifiche tecniche di indagine ha permesso di velocizzare i processi di analisi e di affinare la precisione e l'affidabilità delle misure. Lo sviluppo di piattaforme informative dedicate all'archiviazione di dati eterogenei interrogabili a più livelli ha inoltre consentito una nuova modalità per lo studio delle condizioni dei sistemi complessi in funzione di parametri diversi. Con l'avvento del web si è favorito lo scambio di informazioni e dati fra istituzioni preposte alla conservazione dei beni culturali.

²⁷ Per approfondimenti si rimanda a BASILE 2007, BASILE, GIANDOMENICO 1998, PASSALACQUA 1998.

INSERTO

Diagnostica per l'architettura

La letteratura edita sulla diagnostica dei beni culturali è ad oggi molto ricca e composta da testi universitari, manuali tecnici e numerose riviste di settore, nonché atti di sempre più numerosi convegni dedicati al settore in generale o branche specifiche di ricerca e applicazione. Non è semplice, però, districarsi fra le numerose informazioni, data soprattutto la loro elevata frammentazione dovuta alle tante e diverse applicazioni. Tale frammentazione è d'altronde connaturata al settore specifico, essendo la diagnostica definita per lo più come insieme di tecniche. Come già detto, infatti, non è la diagnostica in sé ma la diagnosi l'obiettivo principale del lavoro. I percorsi investigativi illustrati dalla letteratura specialistica sono quasi sempre impostati come raggruppamenti di tecniche specifiche. Per esempio, spesso accade di trovare testi che presentano modalità diagnostiche diverse messe a punto in ambiti scientifici omogenei e specifici, come la chimica o la fisica o la biologia²⁸, oppure le tecniche vengono suddivise in riferimento al materiale indagato²⁹ o, ancora, per tipologia applicativa³⁰.

Meno frequente è la presentazione della diagnostica in funzione della natura dei beni culturali indagati: archeologici, pittorici, scultorei, architettonici, archivistici³¹; ciò accade perché la rappresentazione delle tecniche diagnostiche valide per un particolare tipo di bene non è di per sé semplice e richiede l'enunciazione di univoci indirizzi operativi. Di contro alcune tecniche diagnostiche sono contemporaneamente valide per più tipologie di beni indagati. In architettura, per esempio, si privilegia l'interpretazione e la rappresentazione del dato diagnostico per il cantiere di restauro³², oppure la conoscenza e la diagnosi delle patologie tipiche dell'edificio storico³³.

Per offrire uno stato dell'arte sulle tecniche diagnostiche impiegate per i beni architettonici si propone qui una loro ripartizione in riferimento alla loro componente strutturale e strettamente materica; un paragrafo a parte viene poi esclusivamente dedicato alla caratterizzazione delle malte, materiale dal ruolo ambivalente, sia strutturale che figurativo. Sono state selezionate le tecniche maggiormente utilizzate per la caratterizzazione completa dello stato di fatto.

²⁸ Si citano a titolo esemplificativo MATTEINI, MOLES 2007; CAMPANELLA ET AL. 2007; CANEVA, NUGARI 1994.

²⁹ La classica suddivisione dei materiali indagabili con le tecniche diagnostiche, spesso oggetto dei singoli corsi universitari di settore, è la seguente : materiali lapidei, materiali pittorici, materiali ceramici e vitrei, materiali lignei, materiali cellulosici, materiali metallici, materiali di origine animale.

³⁰ Le principali tipologie in questo caso sono: microscopia, spettroscopia, imaging, chimica analitica.

³¹ In realtà i settori archeologico e pittorico sono comunque ampiamente rappresentati in testi specifici di diagnostica applicata, a causa del percorso storico di maggior durata nell'interazione tra le discipline.

³² MUSSO 2004

³³ FIORANI 2009

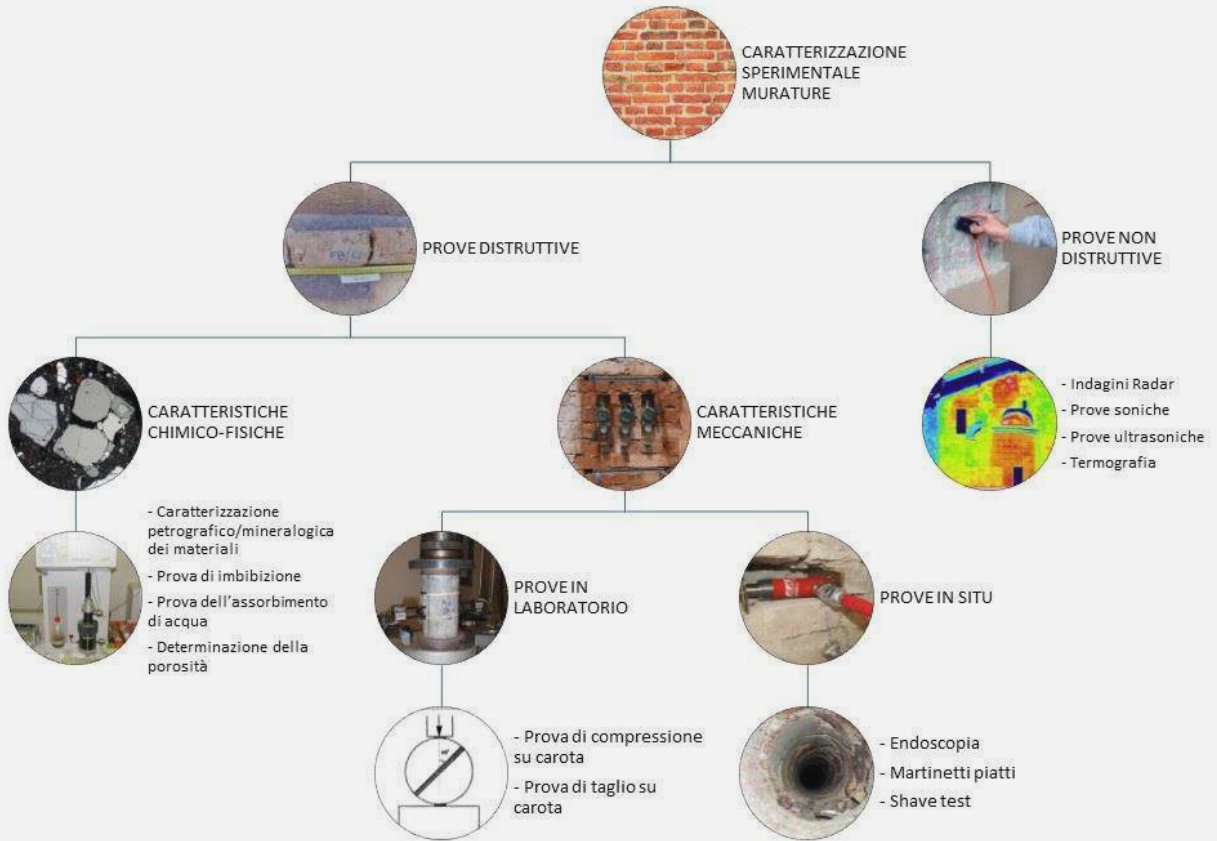
STRUTTURE

La diagnostica strutturale comprende l'insieme di tecniche di indagine rivolte alla definizione dello stato di sollecitazione delle strutture e delle caratteristiche costruttive che incidono sul comportamento strutturale.

Le tecniche investigative possono essere realizzate *in situ*, mediante analisi visive e misurazioni strumentali. Alcune prove di laboratorio, in grado d'integrare la ricognizione e l'indagine sulle strutture *in situ*, aiutano a identificare le principali caratteristiche fisico-chimiche e meccaniche dei materiali in opera. Nei successivi paragrafi vengono esposte le principali tecniche di studio e controllo delle strutture esistenti suddivise per tecniche di caratterizzazione delle murature o delle componenti in legno e tecniche rivolte alla valutazione dello stato di altri elementi collaboranti, come tiranti e catene.

Strutture murarie

Sono qui considerate le principali prove diagnostiche di caratterizzazione sperimentale delle murature esistenti, ad esclusione delle prove meccaniche *in situ* sulle malte, le quali verranno illustrate nel paragrafo 1.2.2. Le prove sono suddivise in distruttive e non distruttive. Le prime sono tutte le prove che prevedono la rimozione di materiale dalla muratura; le seconde quelle che forniscono informazioni sulla muratura mediante metodi che non alterano il materiale delle murature in esame. Le prove non distruttive sono a loro volta suddivise in base alla loro capacità di fornire informazioni sulle caratteristiche chimico-fisiche dei materiali della muratura o sulle proprietà meccaniche dei materiali. Le caratteristiche chimico-fisiche si studiano in laboratorio mediante test su campioni provenienti da carote estratte dalla muratura. Le caratteristiche meccaniche possono essere studiate sia in laboratorio che *in situ*. Le prove non distruttive si eseguono esclusivamente *in situ*.



Prove distruttive³⁴

Le determinazioni delle caratteristiche chimico-fisiche, nonché le prove di resistenza a compressione e a taglio possono essere eseguite in laboratorio testando il materiale proveniente dall'estrazione di carote dalla muratura.

Carotaggi

Il carotaggio è l'operazione di estrazione dalla muratura di un cilindro di materiale detto appunto carota³⁵ (Fig.1.2.1). L'estrazione viene eseguita mediante l'uso di attrezzature specifiche che prendono il nome di carotatrici³⁶. La profondità e il diametro della carota vanno stabiliti in funzione della tipologia di elementi presenti nella muratura, delle finalità delle successive indagini di laboratorio, e della riduzione al minimo danno provocato alla muratura. Una volta estratte le carote vengono indicizzate. Il codice di identificazione della carota va sempre messo in relazione con il punto esatto del prelievo. L'esame immediato delle carote consente una prima identificazione della stratigrafia interna e una valutazione delle condizioni conservative. I fori prodotti dal carotaggio possono essere ispezionati mediante endoscopia.

Endoscopia

Le indagini endoscopiche possono essere eseguite praticando fori di piccole dimensioni (diametro dai 10 ai 20 mm). La profondità dei fori dipende da cosa si vuole investigare. In genere, l'obiettivo dell'indagine è il rilievo stratigrafico della muratura e l'individuazione di eventuali vuoti o cavità negli spessori murari. L'endoscopio è un'asta flessibile, all'estremità della quale è applicata una macchina fotografica o una videocamera e un sistema di illuminazione a fibre ottiche. L'endoscopio è quindi uno strumento in grado di documentare fotograficamente le caratteristiche interne alla muratura (Fig. 1.2.2).

³⁴ Per approfondimento sulle prove di caratterizzazione sperimentale delle murature storiche si rimanda a CANGI 2005.

³⁵ Non esiste una normativa tecnica per l'estrazione di carote da murature storiche. Per l'esecuzione del carotaggio in questi casi si fa riferimento alla norma UNI 6131:2002 (Prelevamento di provini di calcestruzzo indurito), specifica per strutture in calcestruzzo.

³⁶ La carotatrice costituita da un tubo di acciaio, detto carotiere, collegato ad un motore che ne permette il movimento rotatorio, alla cui estremità è posta una corona diamantata. La lunghezza della carota estratta si aggira in genere intorno ai 40 cm, con diametro variabile dai 4 ai 10 cm a seconda delle necessità, ma con l'utilizzo di apposite prolunghie si possono raggiungere profondità più elevate. Il calore che si sviluppa per attrito viene mitigato mediante un getto di acqua continuo che oltretutto lubrifica le superfici di contatto con la muratura.

Tecniche per la determinazione delle caratteristiche chimico-fisiche dei materiali

Caratterizzazione minero-petrografica dei materiali lapidei

I materiali che compongono la carota estratta dalla muratura rappresentano le componenti di quella sezione muraria e possono essere singolarmente caratterizzate dal punto di vista mineralogico e petrografico mediante l'osservazione in microscopia ottica di sezioni spesse, trasversali alla eventuale stratigrafia (*cross sections*³⁷), e successivamente di sezioni sottili³⁸. Il materiale analizzato può essere di origine naturale (pietra) o artificiale (laterizio o malta). L'osservazione al microscopio ottico della *cross section* è preliminare alla vera e propria lettura petrografica della sezione sottile che consente l'individuazione dei minerali presenti nel materiale. La lettura petrografica viene eseguita con un apposito microscopio ottico polarizzatore, ovvero in luce trasmessa polarizzata. Solo in queste condizioni è possibile osservare determinate caratteristiche ottiche di rifrangenza e birifrangenza dei cristalli (minerali) diagnostiche delle diverse specie cristalline, permettendone quindi l'identificazione (Fig.1.2.3).

Determinazione della capacità di assorbimento d'acqua

La capacità di un materiale di assorbire acqua viene misurata immergendo un campione, estratto dalla carota, per 24 ore in acqua distillata. Il campione va preventivamente essiccato al fine di non alterare la lettura dei risultati della prova. Una volta essiccato viene pesato con una bilancia di precisione. Dopo 24 di immersione il campione viene nuovamente pesato. Si ottiene quindi per differenza tra le due misure, la massa d'acqua trattenuta nel campione.

Determinazione della porosità

La porosità dei materiali si determina mediante l'utilizzo di un porosimetro a mercurio. Il campione viene immerso in mercurio all'interno di un cilindro a tenuta. Mediante dispositivi che aumentano la pressione nel porta-campione il mercurio penetra nella porosità aperta del materiale. Viene usato il mercurio perché, per sue proprietà chimico-fisiche esso non bagna il materiale. In funzione della pressione esercitata per permettere l'intrusione del mercurio nei pori è possibile calcolare la

³⁷ Il campione di materiale viene inglobato in resina e in seguito sezionato. La superficie viene levigata e lucidata a specchio mediante l'utilizzo di una lappatrice. In questo modo si ottiene una superficie perfettamente piana adatta per l'osservazione mediante microscopia ottica.

³⁸ La sezione sottile si ottiene incollando a un vetrino per microscopia il campione già ridotto ad uno spessore millimetrico. Mediante l'uso di una lappatrice e di apposite strumentazioni per la preparativa del campione si ottiene uno spessore di circa 20-30 μm , ottenendo così un campione trasparente osservabile al microscopio in luce trasmessa.

percentuale di porosità aperta. Campioni particolarmente fragili non possono essere sottoposti alla prova perché le elevate pressioni esercitate ne determinerebbero la rottura. Pertanto, è importante selezionare materiale interno alla carota, e non proveniente dalle superfici già disturbate dall'operazione di carotaggio.

Determinazione dell'umidità trattenuta nella muratura

La misura dell'umidità trattenuta dai materiali in muratura avviene selezionando campioni per tipologia di materiale e pesandoli con una bilancia di precisione. Successivamente alla prima pesata i campioni vengono messi ad essiccare in forno a 100 °C. A completa essiccazione si effettua una nuova pesata. La perdita in peso rappresenta il peso di acqua che era contenuto nel campione.

Tecniche per la determinazione delle caratteristiche meccaniche

Prove in laboratorio

*Prova di Compressione su carota*³⁹

Per eseguire la prova a compressione su carota la direzione del carotaggio deve essere perpendicolare alle linee di forza presenti nella porzione di muratura. La carota deve essere rappresentativa della composizione effettiva della muratura (deve rispettare la ripartizione in muratura tra elementi litici e malta). Questo in pratica comporta che la carota deve avere diametro di almeno 150 mm, il che comporta una notevole invasività della muratura. La carota viene posta fra i piatti nella pressa replicando le condizioni di direzione della sollecitazione della muratura in opera.

La resistenza a compressione si determina applicando al campione un carico crescente fino a rottura. Il calcolo del valore di resistenza si ricava dalla relazione:

$$R = F/d \cdot l$$

Dove:

R = valore della resistenza a compressione

F = valore del carico di rottura

d = diametro della carota

l = lunghezza della carota

Il valore della resistenza va normalizzato seguendo specifiche procedure di calcolo indicate dalle normative tecniche. Disponendo alle estremità della carota trasduttori per la misura delle deformazioni in direzione orizzontale e verticale, è possibile calcolare anche il modulo di elasticità e il coefficiente di deformazione trasversale.

Prova di Taglio su carota

La prova è stata messa a punto e sperimentata partendo dalla simulazione dello stato tensionale elastico di pannelli di muratura soggetti a compressione diagonale mediante la compressione in laboratorio di carote cilindriche comprendenti un giunto di malta orizzontale lungo un diametro a 45° rispetto al giunto di malta⁴⁰ (Fig.1.2.4). La sperimentazione ha prodotto delle stime di correlazione tra i risultati su pannelli e su carote estratte dagli stessi.

³⁹ In riferimento alla Normativa Tecnica Fiche UIC 778-3E.

⁴⁰ BRAGA, DOLCE, MASI 1993

Prove in situ

Martinetto piatto singolo

Prima di eseguire la prova si procede con un taglio su un giunto di malta orizzontale e la contestuale introduzione del martinetto piatto all'interno della fessura (Fig.1.2.5). Introducendo il martinetto si riportano i lembi della fenditura nelle condizioni iniziali. Dalla forza esercitata dal martinetto per ottenere si deduce lo stato tensionale presente nella muratura. La metodologia prevede quindi le seguenti azioni:

1. esecuzione del taglio
2. misurazione tramite l'utilizzo di un deformometro dell'avvicinamento dei lembi della fessura
3. inserimento del martinetto piatto all'interno del taglio
4. ripristino delle condizioni precedenti al taglio mediante la pressione esercitata dal martinetto.

La pressione esercitata dal martinetto si assume pari alla sollecitazione a compressione preesistente nella muratura, a meno di costanti che tengono conto del rapporto tra l'area del martinetto e quella del taglio e di un coefficiente di rigidità del martinetto fornito dalla casa costruttrice.

Martinetto piatto doppio

L'indagine con doppio martinetto piatto si esegue su due tagli paralleli nella muratura ad una distanza tra i 50 a 100 cm, all'interno dei quali posizionare due martinetti piatti (Fig.1.2.6). In questo caso la pressione esercitata dai due martinetti può raggiungere valori fino a tre volte superiori a quelli iniziali, in modo da fornire indicazioni sulle caratteristiche di resistenza della muratura: modulo elastico, caratteristiche di deformazione, resistenza di rottura o di prima fessurazione.

Shave test – Prova di taglio diretto in situ

Mediante l'esecuzione dello *shave test* si determina il valore medio di resistenza a taglio *in situ*. La prova consiste nel far slittare orizzontalmente, mediante l'uso di martinetti idraulici, un elemento isolato lateralmente della muratura (Fig.1.2.7). La forza trasmessa dai martinetti dipende dallo stato di compressione che insiste sull'elemento. Lo scorrimento prosegue fino a rottura a livello di giunto. La resistenza a taglio viene quindi misurata per il letto di malta adiacente all'elemento caricato.

Prove non distruttive

Indagini Georadar (GPR)⁴¹

L'acronimo GPR sta per *Ground Penetrating Radar*. La tecnica d'indagine utilizza onde elettromagnetiche inviate sulla superficie dell'oggetto in esame da un'antenna, movimentata sulla superficie in modo controllato. La movimentazione dell'antenna innesca un fenomeno d'interferenza delle onde riflesse dai materiali che incontrano nel loro percorso. Il fenomeno d'interferenza dell'onda radar in un determinato materiale è legato alla velocità di propagazione dell'onda stessa, in funzione delle caratteristiche fisiche dei materiali con i quali interagisce. L'antenna che emette la radiazione riceve il segnale riflesso. La rapidità di esecuzione dell'indagine consente l'ispezione di strutture di elevate dimensioni. In generale, la velocità di propagazione dell'onda è influenzata dalla costante dielettrica e dalla suscettività magnetica del materiale. La profondità massima raggiungibile dall'impulso radar è funzione della sua frequenza della resistività elettrica del materiale. Maggiore è la frequenza, minore è la profondità raggiunta. Durante la propagazione all'interno del materiale, l'onda radar subisce un'attenuazione, la cui entità è direttamente proporzionale alla conduttività elettrica del materiale attraversato. In presenza di discontinuità strutturali, quali fratture, cavità o cambi di materiale, l'onda viene in parte riflessa, generando impulsi secondari. Tali impulsi vengono registrati e tradotti in un radargramma. La lettura e interpretazione del radargramma consente la visualizzazione (imaging) delle conformazioni materiche. Il radargramma fornisce in pratica una sezione dell'oggetto.

Indagini Georadar per lo studio delle fondazioni

Lo studio delle fondazioni mediante l'applicazione del GPR viene effettuato mediante due tipi di elaborazione del radargramma:

1. Sezioni Radar: sezioni verticali del sottosuolo che visualizzano la risposta del terreno agli impulsi.
2. Sezioni tomografiche: sezioni orizzontali di spessore definito che consentono una visione in pianta delle caratteristiche del sottosuolo alle varie profondità.

Indagini Georadar per lo studio delle sezioni murarie

Le indagini georadar possono essere applicate anche alla muratura per studiarne le caratteristiche interne alla sezione. L'indagine permette l'individuazione dei diversi materiali interni alla muratura

⁴¹ Per approfondimenti si rimanda a MAIERHOFER, LEIPOLD 2001.

e soprattutto il rilievo di fratture e cavità, l'individuazione di discontinuità, disomogeneità ed altre anomalie. Inoltre, essendo la tecnica molto sensibile alla presenza di acqua è possibile elaborare mappature della distribuzione di umidità interna.

*Prove soniche*⁴²

Le prove soniche si basano sul fenomeno di propagazione di onde elastiche (sonore) nei materiali. La risposta della prova permette di individuare fessure o vuoti e valutare il grado di continuità ed omogeneità del materiale. La velocità di propagazione delle onde varia in funzione della densità e dei parametri elastici. In presenza di vuoti le velocità di propagazione delle onde subiscono una notevole diminuzione. L'impulso viene prodotto utilizzando un martello strumentato. Un ricevitore, costituito da un accelerometro collegato ad una centralina visualizza la misura del tempo di propagazione degli impulsi.

È importante modulare la frequenza durante la prova perché un difetto non viene registrato se la lunghezza d'onda è della stessa dimensione o maggiore della fessura. La prova non è quindi in grado di individuare lesioni molto piccole (coperte però dalle prove ultrasoniche). Tuttavia, le prove soniche forniscono la localizzazione dei difetti più importanti quali larghe fessure e discontinuità dovute al deterioramento dei materiali.

Le prove soniche possono essere eseguite seguendo tre tecniche:

1. Prova trasmissiva o diretta: nella quale il martello strumentato e il ricevitore sono posizionati su due facce opposte dell'elemento di muratura da esaminare (Fig. 1.2.8).
2. Prova riflessiva o indiretta: nella quale il martello strumentato e il ricevitore sono posizionati sulla stessa faccia della muratura (Fig. 1.2.8).
3. Tomografia sonica: è un tipo particolare di prova di trasmissione in quanto che prevede l'esecuzione di numerosi test condotti in maniera diretta ripetuti a più quote della muratura. Tutti i valori dei tempi di propagazione vengono utilizzati per compiere una restituzione tridimensionale della distribuzione delle velocità nell'oggetto. La restituzione tomografica viene eseguita tramite l'elaborazione dei dati processati con opportuni software.

Prove ultrasoniche

Il principio e le modalità di esecuzione delle prove ultrasoniche sono sostanzialmente analoghi a quelli delle prove soniche, ma cambiano le frequenze utilizzate, nella fattispecie maggiori, che consentono di individuare difetti di piccole dimensioni, ma non quelli di dimensioni maggiori. Le

⁴² Per approfondimenti sulle prove soniche e ultrasoniche su muratura si rimanda a BATTISTI 2019.

frequenze utilizzate sono comprese fra i 10 ed i 200 kHz. Il metodo è di accertata validità per il rilievo dei cambiamenti di densità, di modulo elastico e resistenza per strutture isotrope, mentre per quelle anisotrope si ha una maggiore dispersione di dati. Per tale motivo data la disomogeneità delle murature storiche, le prove ultrasoniche non sempre forniscono risultati attendibili.

*Indagini termografiche*⁴³

Il principio fisico su cui si basa la tecnica termografica è quello dell'emissione da parte di tutti i corpi di radiazione elettromagnetica, nella banda dell'infrarosso (lunghezze d'onda comprese tra 700 nm e 1 mm), in relazione alla propria temperatura.

La termografia si configura come una tecnica di imaging della temperatura superficiale dei corpi. In pratica la termografia permette di visualizzare valori assoluti e variazioni di temperatura. La relazione fra temperatura di un oggetto e quantità di radiazione infrarossa emessa dalla sua superficie è governata da una relazione di diretta proporzionalità definita dalla legge di Stefan-Boltzmann:

$$E = \sigma \cdot \varepsilon \cdot T^4$$

Dove

E = emittanza nell'infrarosso (IR), ovvero la potenza emessa per unità di superficie (Watt su metro quadrato $W \cdot m^{-2}$)

σ = costante di Stefan-Boltzmann

ε = emissività del materiale, ovvero frazione di energia irradiata da quel materiale rispetto all'energia irradiata da un corpo nero che sia alla stessa temperatura⁴⁴

T = Temperatura assoluta del corpo (misurata in gradi Kelvin, K)

La ripresa termografica si effettua mediante l'utilizzo di una termocamera, ovvero una camera fotografica dotata di sensori per la radiazione IR. La camera non fotografa quindi la radiazione visibile riflessa, ma la radiazione infrarossa emessa. L'imaging elaborato può essere in scala di grigi (dal nero al bianco) o in falso colore (dal blu al rosso o dal viola al giallo). La scala cromatica fornisce un'indicazione quali-quantitativa immediata della temperatura rilevata, dalla più fredda alla più calda (Fig.1.2.9). Nell'edilizia, nell'architettura e nell'ingegneria la termovisione, proprio in quanto mezzo di diagnosi non distruttiva, presenta un vasto campo di applicazioni come il rilevamento della

⁴³ Per approfondimenti si rimanda a ROCHE 2012.

⁴⁴ Per corpo nero si intende un corpo ideale in grado di assorbire al 100% tutta la radiazione elettromagnetica incidente senza rifletterla. Per il corpo nero ideale la legge di Stefan-Boltzmann è valida a meno della componente di emissività e rappresenta la relazione ideale e di riferimento tra temperatura assoluta di un corpo ed emissione da parte dello stesso di radiazione infrarossa.

presenza di umidità, l'identificazione di elementi architettonici nascosti, l'individuazione di distacchi negli intonaci o la presenza di lesioni ad essi sottostanti, lo stato di conservazione o degrado dei materiali, l'individuazione di diversi materiali in una stessa struttura.

Le modalità di esecuzione della ripresa in termovisione sono di due tipi:

1. Analisi termografica in condizioni attive: la struttura da indagare viene riscaldata favorendo l'incremento della risposta termografica e attivando i flussi di meglio discriminare gli elementi a diversa capacità termica.
2. Analisi termografica in condizioni passive: si analizza la superficie così come essa si presenta in condizioni di normale esercizio termico. Quest'ultimo metodo è utilizzato più frequentemente per indagini sui fronti esterni perché si sfrutta il soleggiamento diretto e si analizzando la risposta termica delle superfici al momento dell'indagine.



Figura 1.2.1 Carote estratte da una muratura in mattoni pieni.



Figura 1.2.2 Ripresa fotografica endoscopica di una muratura in mattoni pieni.

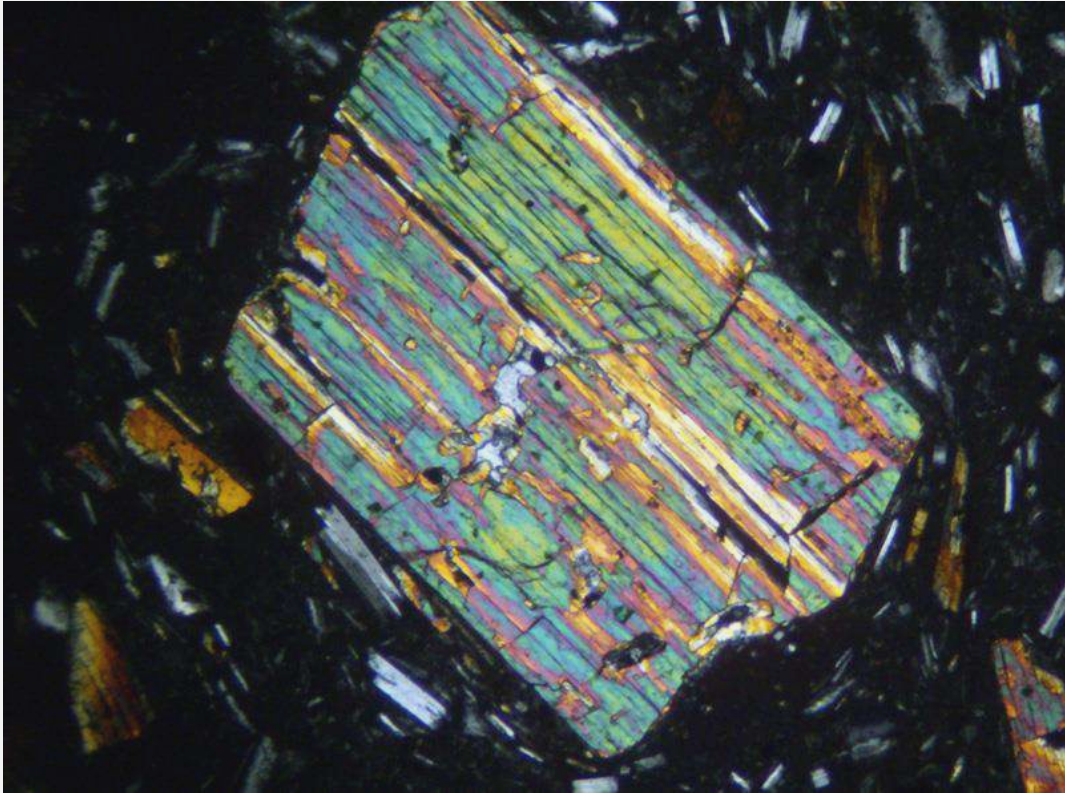


Figura 1.2.3 Immagine catturata al microscopio ottico polarizzatore (ingrandimento 10X). Il minerale individuato è un'orneblenda, riconoscibile per abito cristallino (forma), tessitura e colori di rifrangenza in luce trasmessa polarizzata.

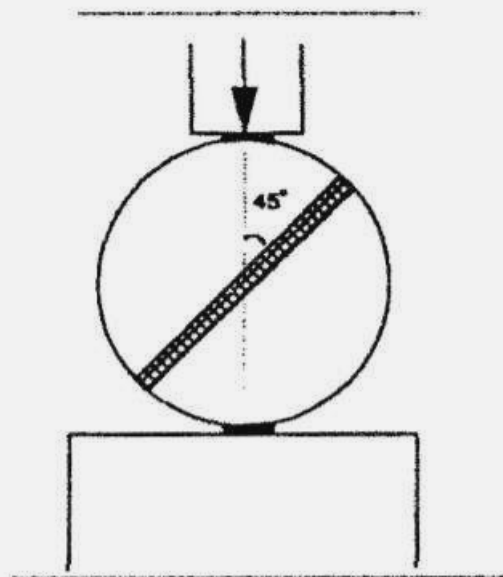


Figura 1.2.4 Schema di orientazione a 45° del giunto di malta della carota sottoposta a prova di taglio (BRAGA, DOLCE, MASI 1993)



Figura 1.2.5 Esecuzione di una prova con martinetto piatto singolo.



Figura 1.2.6 Esecuzione di una prova con martinetto piatto doppio.



Figura 1.2.7 Esecuzione di uno Shave Test.



Figura 1.2.8 Geometrie di esecuzione delle prove soniche, trasmissive o riflessive. La lettera E indica l'emettitore dell'impulso, la lettera R indica il ricevitore.

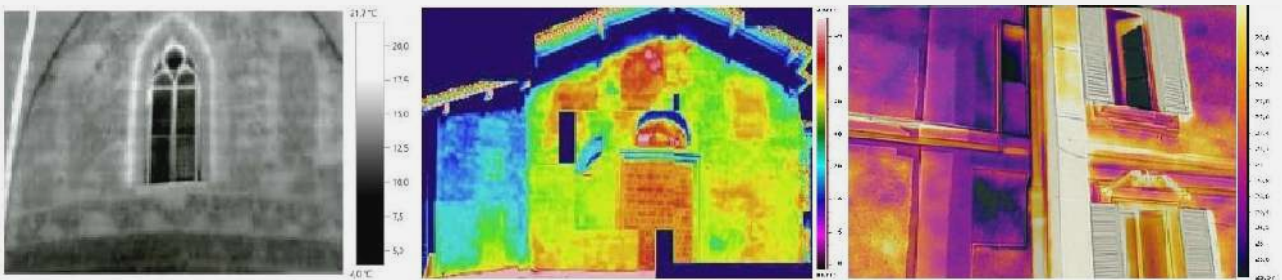
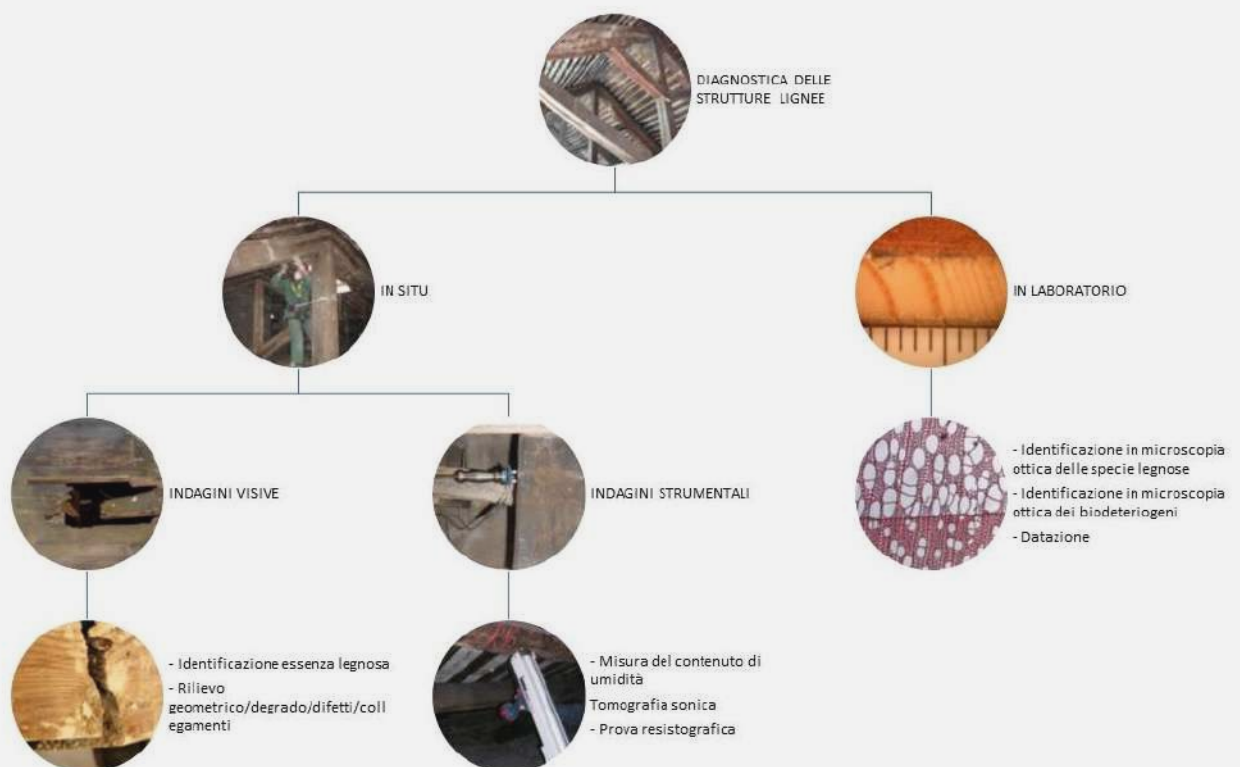


Figura 1.2.9 Tre modalità di imaging termografico, da sinistra a destra: scala di grigi, scala cromatica blu-rosso, scala cromatica viola-giallo.

Strutture lignee

Le prove diagnostiche per le strutture lignee sono suddivise in prove *in situ* e prove in laboratorio. Le prime sono a loro volta distinte in indagini visive e strumentali. Le prove *in situ* sono finalizzate all'ispezione delle condizioni conservative delle strutture e alla caratterizzazione dei materiali lignei utilizzati e delle tecniche di assemblamento degli elementi con opportune verifiche dei collegamenti. Le indagini di laboratorio sono finalizzate all'individuazione delle essenze lignee, delle specie biodeteriogene eventualmente presenti e della datazione degli elementi lignei. L'iter procedurale diagnostico presentato per le indagini in situ segue le indicazioni della normativa tecnica UNI 11119: 2004 "Beni Culturali. Manufatti lignei. Strutture portanti degli edifici – Ispezione in situ per la diagnosi degli elementi in opera".



Indagini in situ

Indagini visive

Le indagini visive delle strutture lignee sono preliminari ad ogni altro tipo di indagine e consistono nell'osservazione della struttura dapprima nel complesso e poi di ogni singolo elemento ligneo che ne fa parte, con lo scopo di rilevare e valutare lo stato conservativo. Per ogni elemento ligneo devono essere rilevate le seguenti informazioni: specie legnosa, umidità, geometria, degrado biologico (insetti xilofagi, specie fungine e infezioni microbiologiche) e meccanico (rottture, lesioni), efficienza dei collegamenti.

Identificazione dell'essenza lignea

Viene eseguita facendo riferimento alla norma UNI 11118:2004 "Beni Culturali. Manufatti lignei. Criteri per l'identificazione delle specie legnose" che prevede un esame macroscopico dell'elemento e, qualora non risultasse sufficiente, si procede al campionamento dell'elemento per permettere l'identificazione mediante un esame microscopico in sezione.

Rilievo della geometria, del degrado biologico e meccanico e valutazione dell'efficienza dei collegamenti

Viene eseguito un rilievo geometrico sul sistema strutturale in generale e su ciascun elemento ligneo comprese eventuali deformazioni e difetti. Oggetto di caratterizzazione geometrica sono anche i collegamenti legno-legno e legno-metallo. Il degrado biologico viene rilevato a vista e documentato fotograficamente. Vengono rilevati il tipo di degrado (indotto da insetti o da specie fungine o batteriche), l'entità e la sua localizzazione. Per quanto riguarda il degrado meccanico, vengono rilevati eventuali dissesti del sistema strutturale e delle singole unità. Sul singolo elemento si rilevano tutte le forme di degrado meccanico (rottture, lesioni, deformazioni, scorrimenti, rotazioni). Infine, si fornisce una valutazione dell'efficienza di tutti i collegamenti.

Indagini strumentali

*Misura dell'umidità*⁴⁵

La misura dell'umidità trattenuta nelle strutture lignee viene effettuata mediante l'uso di uno strumento portatile di semplice utilizzo, l'igrometro elettrico con elettrodi isolati. La misura va eseguita previa progettazione di una griglia di campionamento degli elementi statisticamente valida. Le misurazioni si eseguono, in funzione dello scopo e delle condizioni operative, in più punti in modo da individuare eventuali gradienti di umidità trasversali e longitudinali. Uno studio più completo si può ottenere incrociando i dati riferiti all'umidità trattenuta dalle strutture e quelli relativi ai parametri ambientali microclimatici⁴⁶.

Tomografia sonica

La prova sonica tomografica già illustrata nel paragrafo 1.2.1 è applicabile anche alla sezione delle travi lignee ed è molto efficace per l'individuazione delle fratture o dei vuoti interni.

*Prova resistografica*⁴⁷

La prova viene condotta per mezzo di un trapano strumentato in grado di rilevare la resistenza che il materiale ligneo oppone alla penetrazione della una punta. Le dimensioni esigue della punta (3 mm di diametro) non provocano danni strutturali ed estetici all'elemento. La risposta che si ottiene è un grafico, in cui sulle ascisse viene riportata la profondità espressa in cm e sulle ordinate la resistenza del legno (Fig. 1.2.10). L'impiego principale consiste nella ricerca di zone degradate e discontinuità non visibili in superficie e nell'acquisizione di elementi di prova per la stima della sezione resistente residua.

⁴⁵ Il metodo è normato dalla UNI 11204:2007 "Beni Culturali. Manufatti Lignei. Determinazione dell'umidità".

⁴⁶ Una trattazione delle indagini microclimatiche è presente nel paragrafo 1.2.3 della tesi.

⁴⁷ Per approfondimenti si rimanda a BADALINI, BARBÒ, DEL CURTO 2009

Indagini in laboratorio

Identificazione della specie legnosa in microscopia ottica⁴⁸

L'identificazione della specie legnosa in microscopia ottica avviene mediante l'osservazione delle caratteristiche dei due sezioni sottili del campione ligneo prelevato in situ. Si procede producendo una sezione tangenziale alla direzione di accrescimento verticale del tronco ligneo, una sezione trasversale e una sezione radiale (Fig. 2.1.11). Dall'incrocio delle caratteristiche osservate per le tre sezioni è possibile identificare, in base alle strutture anatomiche tipiche di ogni specie, l'essenza lignea.

Identificazione dei biodeteriogeni in microscopia ottica⁴⁹

L'identificazione delle specie biodeteriogene del legno si effettua mediante isolamento da campione raccolto *in situ* di materiale biologico infettante. Il materiale biologico viene messo in coltura in laboratorio e poi osservato in microscopia ottica per l'identificazione della specie fungina o batterica responsabile dell'infezione.

⁴⁸ Per approfondimenti si rimanda a BERTI, FIORAVANTI, MACCHIONI 2017.

⁴⁹ Per approfondimenti si rimanda a CANEVA, NUGARI, SALVADORI 1994.

Tecniche di datazione dei legni

*Dendrocronologia*⁵⁰

La Dendrocronologia è la scienza che studia gli anelli di accrescimento annuale degli alberi. Gli alberi producono un anello di legno nuovo ogni anno nel periodo che intercorre tra primavera ed estate. L'ampiezza degli anelli dipende dalle condizioni stagionali/climatiche di accrescimento ed è questa caratteristica sequenza di anelli larghi e stretti che sta alla base della dendrocronologia. Lo spessore dell'anello di accrescimento è una sorta di "scatola nera" che registra le caratteristiche climatiche di ogni singolo anno, a meno dei processi metabolici del singolo individuo. Ad esempio, a una primavera-estate umide corrisponde un anello particolarmente ampio. Ad un periodo vegetativo segnato da un clima secco corrisponde ad un anello stretto. La datazione dendrocronologica si basa sul principio secondo il quale alberi cresciuti nelle medesime condizioni ambientali e nello stesso lasso di tempo sono caratterizzati da sequenze anulari simili (Fig.2.1.12). Per creare delle sequenze cronologiche attendibili è necessario esaminare e confrontare statisticamente molti campioni. Sequenze anulari utili per la datazione sono state costruite in questo modo, analizzando vari campioni prelevati da alberi viventi di longevità di centinaia di anni, in una determinata regione geografica a clima omogeneo. La sovrapposizione di due o più sequenze anulari tratta da diversi campioni è chiamata *cross-dating*. La misurazione degli anelli avviene attraverso l'osservazione di campioni con un microscopio stereoscopico. Datare un campione ligneo mediante dendrocronologia significa confrontare la sua sequenza anulare con un'appropriata cronologia di riferimento. Nel corso di vari decenni si sono costruite delle cronologie che, per quanto riguarda l'area europea, raggiungono considerevoli estensioni. Per un qualsiasi campione ligneo, prelevato trasversalmente all'asse di accrescimento del tronco, in modo che possa essere leggibile al microscopio il trend di sequenza di accrescimento annuo, è possibile il confronto con le curve esistenti e pertanto la datazione dendrocronologica.

*Metodo del ¹⁴C*⁵¹

Il Carbonio-14 (¹⁴C) è un isotopo radioattivo del carbonio⁵². L'isotopo è continuamente prodotto negli

⁵⁰ Per approfondimenti si rimanda a ROMAGNOLI 2009.

⁵¹ Per approfondimenti si rimanda a GOPALAN 2017.

⁵² Ogni elemento chimico è identificato da numero atomico Z. Il numero atomico Z corrisponde al numero di protoni (particelle sub-atomiche con carica elettrica positiva) presenti nel nucleo che, per motivi di equilibrio energetico, corrisponde a sua volta al numero di elettroni (particelle sub-atomiche con carica elettrica negativa) orbitanti intorno al nucleo. Il numero di massa A è dato dalla somma di protoni e neutroni (particelle sub-

strati alti dell'atmosfera in seguito a collisioni con i raggi cosmici, particelle ad alta energia provenienti dallo spazio esterno, con atomi di azoto. A seguito di tali interazioni l'atomo di azoto diventa un nucleo di carbonio, con due neutroni in più del normale, 14 anziché 12. Il carbonio ^{14}C , così prodotto, viene assorbito dagli organismi viventi attraverso i prodotti della fotosintesi. Il ^{14}C è un isotopo instabile, quindi radioattivo, tende pertanto a ritrasformarsi nel suo isotopo stabile, il ^{12}C nel tempo, emettendo radiazione. Con la morte dell'organismo, cessato il ciclo continuo di ricambio di atomi di carbonio nei tessuti vitali, la quantità del ^{14}C si riduce progressivamente, dimezzandosi in 5730 anni, con l'emissione di radiazioni. Il metodo di datazione isotopica del ^{14}C , basato sulla misura del tempo di dimezzamento, permette di datare un qualsiasi reperto archeologico, geologico, idrogeologico, con un'età non superiore ai 60.000 anni (e non inferiore ai 200 anni) misurando l'emissione di radiazione e, confrontandola con un reperto attuale, di stabilire dal numero di dimezzamenti e pertanto l'età del reperto stesso (o meglio l'età della morte dell'organismo alla base del materiale di cui è costituito il reperto). Essendo il legno strutturale derivato da un organismo vivente, che cessa il suo ciclo vitale al momento del suo abbattimento probabilmente circa coincidente con il momento della costruzione della struttura stessa, esso è databile mediante questo metodo. Si rammenta il range di incertezza della datazione di circa 200 anni, per cui non è possibile datare legni strutturali di epoche recenti in questo modo.

atomiche con carica elettrica neutra) presenti nel nucleo. Un isotopo è un atomo di uno stesso elemento chimico, avente perciò lo stesso numero atomico Z , ma differente numero di massa A . Essendo il numero Z vincolante per protoni ed elettroni, la differenza sul numero di massa A è quindi dovuta ad un diverso numero di neutroni presenti nel nucleo dell'atomo. Tale differenza genera in molti casi un'instabilità energetica del nucleo, determinando la radioattività dello stesso, ovvero la tendenza ad espellere mediante reazioni nucleari, i neutroni in eccesso con contestuale emissione di radiazione, al fine di riconfigurare uno stato energetico stabile.

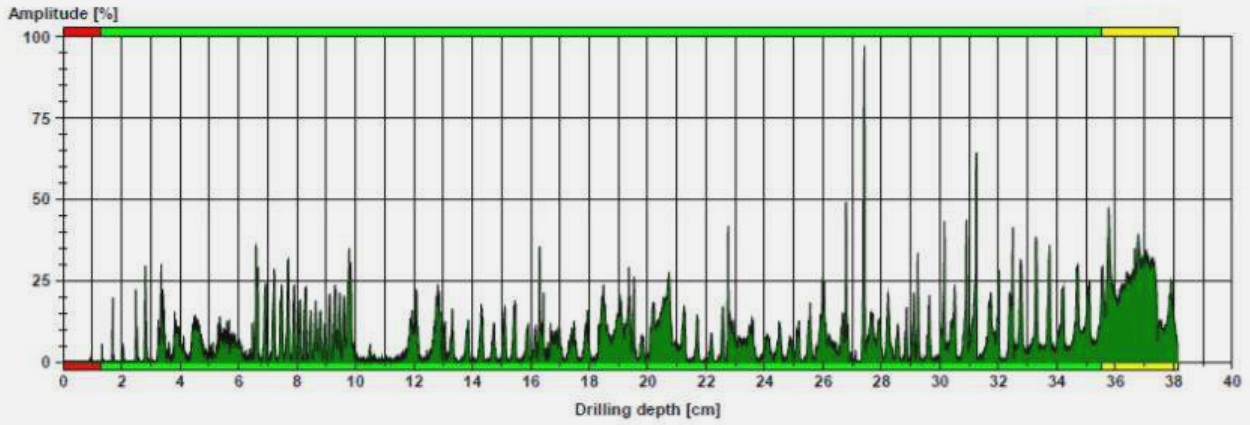


Figura 1.2.10 Esempio di resistogramma.

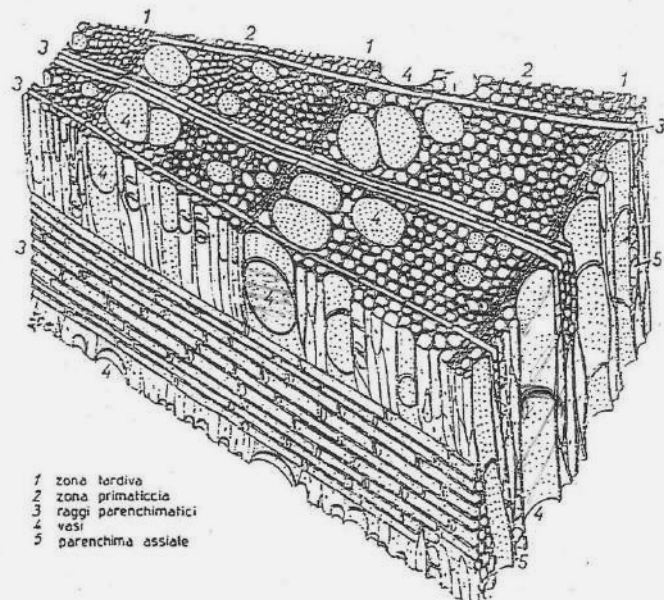


Figura 1.2.11 Schematizzazione dei dettagli anatomici visibili secondo le tre sezioni fondamentali (tangenziale, trasversale e radiale) (BERTI, FIORAVANTI, MACCHIONI 2017)

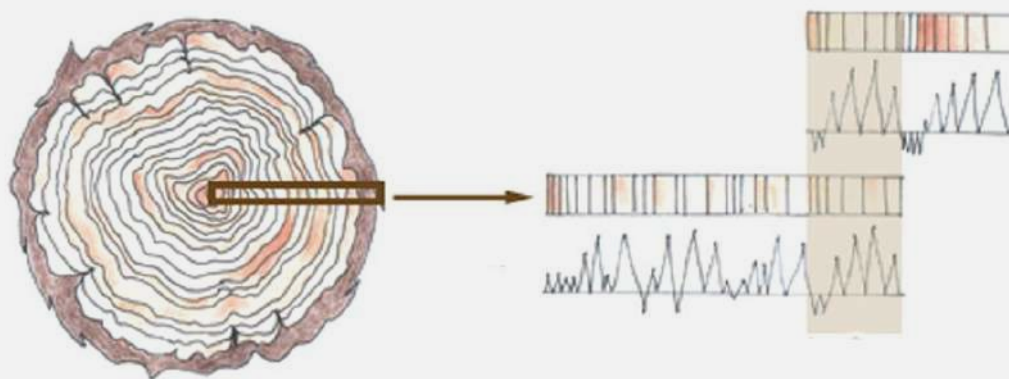


Figura 1.2.12 Schema di costruzione di una sequenza di accrescimento annuale dendrocronologica.

Altri elementi strutturali

Altri elementi che contribuiscono alla tenuta strutturale di un edificio sono gli elementi metallici, quali tiranti e catene, inseriti di progetto nelle strutture o come aggiunte per garantirne la stabilità. Spesso i tiranti metallici, o altri elementi come grappe o cerchiature sono nascosti all'interno delle murature o al di sotto dei rivestimenti superficiali. Per rilevarne la presenza sono impiegate, oltre alle precedentemente esposte indagini non distruttive, delle tecniche di tipo magnetometrico o pacometrico. Per le catene al di sotto di archi e volte esistono tecniche in grado di stabilire il loro stato tensionale e pertanto la loro efficacia nella collaborazione alla stabilità delle strutture.

*Magnetometria*⁵³

La magnetometria è una tecnica d'indagine non distruttiva rivolta all'individuazione di elementi metallici immersi nelle strutture. L'esecuzione della prova si avvale dell'uso di strumentazione *in situ* (pacometro), in grado di rilevare i campi magnetici degli elementi metallici nascosti.

*Prove di tensionamento delle catene*⁵⁴

Le prove di tensionamento si basano sull'identificazione del modo di vibrare delle catene. La tecnica è totalmente non invasiva in quanto necessita solamente del battimento della catena con un martelletto strumentato e dell'acquisizione dell'accelerazione di un punto sulla catena mediante accelerometro (Fig. 1.2.13). Le prime frequenze naturali della catena vengono così identificate sperimentalmente. In genere si misurano dalle prime quattro o sei frequenze naturali. Mediante l'applicazione di un modello numerico (metodo di Rayleigh-Ritz) è possibile calcolare le frequenze naturali della catena al variare del tiro assiale. Il modello tiene in considerazione diversi aspetti che possono essere determinanti, come una sezione trasversale non-uniforme una certa cedevolezza dei vincoli di estremità. Il modello, e un algoritmo di ottimizzazione riduce l'errore con le frequenze sperimentali variando tiro e cedevolezza dei vincoli.

⁵³ La normativa tecnica di riferimento per l'esecuzione delle prove magnetometriche è la BS 1881-204/1988.

⁵⁴ Per approfondimenti si rimanda a BRICCOLI BATI, TONIETTI 2001



Figura 1.2.13 Attività sperimentale di determinazione dello stato tensionale delle catene presso il Duomo di Parma (GARZIERA, COLLINI 2009)

MALTE

Le malte assolvono differenti funzioni in architettura, da quelle strutturali (malte di allettamento e di nucleo) a quelle di rivestimento, protezione, finitura e spesso decorazione delle superfici. In questo paragrafo si espongono le metodologie di studio diagnostico di questo versatile materiale, ad esclusione di quelle più prettamente rivolte alla caratterizzazione del colore e del rilievo dei segni propri della decorazione pittorica di una superficie intonacata (esposti nel paragrafo dedicato agli apparati decorativi, 1.2.3). La scelta di trattare a parte questo materiale deriva dal fatto che queste sono analizzabili tramite una procedura particolarmente complessa e ben normata dal punto di vista tecnico. Ma anche dalla considerazione secondo cui la caratterizzazione di una malta non si ottiene solo dall'analisi tecnica dello stato conservativo e delle caratteristiche chimico-fisiche o meccaniche del materiale, ma è più in generale legata alla conoscenza storico-costruttiva dell'edificio. Spesso si riscontra che i vari cantieri che si sono succeduti su un monumento abbiano impiegato malte differenziabili tra loro per una o più caratteristiche compositive. La caratterizzazione delle malte permette quindi di identificare i diversi cantieri che si sono succeduti sull'edificio. La diagnostica applicata allo studio delle malte fornisce importanti elementi per la valutazione della capacità strutturali globali delle murature⁵⁵, specie in relazione alle caratteristiche del legante, lavorazione e dello stato di conservazione. Si ricorda in sintesi le componenti materiche della malta⁵⁶:

Malta: miscela di leganti inorganici e/o organici, aggregati prevalentemente fini, pozzolane, acqua ed eventuali aggiunte e/o additivi organici e/o inorganici (o miscele di solo legante ed acqua) in proporzioni tali da conferire all'impasto, allo stato fresco un'opportuna lavorabilità e, allo stato indurito, adeguate caratteristiche fisiche (porosità, permeabilità all'acqua), meccaniche (resistenza deformabilità, aderenza), di aspetto, di durabilità.

Legante: Sostanza che, impastata con acqua o da sola, è in grado di far presa su materiali litici o litoidi. I leganti utilizzati nella storia della produzione delle malte possono essere di origine naturale, inorganici (argille) o organici (bitume). Oppure, come si riscontra nella maggior parte dei casi sono prodotti della cottura di materiali naturali inorganici. Dalla cottura delle rocce carbonatiche si ricava il legante aereo (che fa presa mediante l'interazione con l'aria) di maggiore diffusione, la calce⁵⁷.

⁵⁵ Tale valutazione si intende come integrata al controllo diagnostico di tutte le altre caratteristiche della muratura. Non è possibile dedurre conclusioni sulle capacità strutturali di una muratura dallo studio delle sole malte.

⁵⁶ Le definizioni fornite fanno riferimento alla Normativa Tecnica UNI 10924:2001 Malte per elementi costruttivi e decorativi – Classificazione e terminologia

⁵⁷ La calce si ottiene mediante triturazione e cottura di rocce carbonatiche. Alla temperatura di 900°C circa avviene la reazione di decomposizione del carbonato di calcio.

$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2\uparrow$

Dalla cottura delle rocce solfatiche si ottiene un altro legante aereo, il gesso. Dalla cottura di miscele di calce e argilla si ottengono i leganti idraulici (in grado di far presa mediante l'interazione con l'acqua) (Fig.1.2.14)

Aggregato: materiale litico o litoide sciolto (sabbia, cocchiopesto, ghiaia, pozzolana) utilizzato nell'impasto per evitare lesioni in fase di essiccazione. A seconda dell'uso che se vuole fare si possono scegliere varie granulometrie per l'impasto⁵⁸.

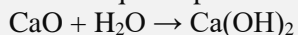
Aggiunte: materiali solidi aggiunti all'aggregato al fine di conferire alla malta determinate caratteristiche di resistenza/durevolezza (fibre), idraulicità (polveri vulcaniche, polveri di cocchiopesto), cromatiche (pigmenti, cariche).

Additivi: materiali aggiunti in soluzione per conferire alla malta determinate caratteristiche di adesione ai supporti, fluidità, plasticità, rapidità nel processo di presa (oli, resine, sostanze proteiche, colle, urina, sangue).

Definite le componenti essenziali delle malte si può procedere alla descrizione delle principali tecniche di indagine diagnostica per la loro caratterizzazione. Tali tecniche vengono differenziate in tecniche per la determinazione delle caratteristiche chimico-fisiche-mineralogiche e tecniche per la determinazione delle caratteristiche meccaniche. A loro volta le tecniche per la caratterizzazione

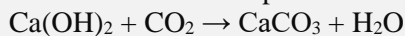
Carbonato di calcio o Calcite a 900°C → Ossido di calcio detto Calce viva + Anidride Carbonica

La calce viva è un materiale polveroso, caustico non modellabile, non adatto ad essere lavorato così com'è. Occorre quindi procedere al così detto spegnimento della calce viva aggiungendo acqua.



Calce viva + Acqua → Idrossido di calcio o Calce spenta o Grassello di calce

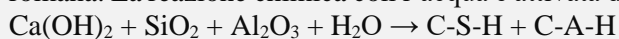
Dopo la stesura l'impasto subisce altre due trasformazioni. La prima, di tipo fisico, è la perdita dell'acqua in eccesso per evaporazione della stessa (essiccazione e/o presa). La seconda è una reazione chimica che avviene grazie alla presenza di anidride carbonica nell'aria (da qui il nome di calce aerea) che si chiama reazione di carbonatazione e che porta alla definitiva solidificazione della malta.



Grassello di calce + Anidride carbonica atmosferica → Carbonato di calcio + Acqua

Si ritorna in tal modo a un materiale carbonatico, chimicamente identico alla roccia di partenza, con il vantaggio di essere plasmato in base alle esigenze di chi costruisce. Per tale motivo la calce è uno dei materiali fondamentali della storia dell'edilizia in tutto il mondo (TORRACA 1981).

⁵⁸ Alcuni tipi di aggregato assolvono anche una funzione idraulizzante della malta. La malta pozzolanica romana ad esempio ha proprietà idrauliche. La necessità di realizzare grandiose strutture in poco tempo portò i romani a perfezionare la calce aerea rendendola idraulica. La tecnica costruttiva romana prevedeva quasi sempre il getto di calcestruzzo in casseforme. Usando malta aerea il processo di presa e indurimento era lento e incompleto, in quanto la malta non veniva a trovarsi a contatto con l'aria e con l'anidride carbonica necessaria per la carbonatazione. Utilizzando la pozzolana come smagrante del grassello di calce, con eventuali aggiunte di ceneri vulcaniche, polvere di tufo e cocchiopesto, si otteneva una malta in grado di fare presa e indurire mediante una reazione con l'acqua. Nasce così la malta idraulica, fondamentale per l'intera architettura romana. La reazione chimica con l'acqua è attivata dagli ossidi di Silicio e Alluminio presenti nella pozzolana.



Grassello di calce + Ossido di silicio + Ossido di alluminio + Acqua → Silicati di calcio idrati + Alluminati di calcio idrati (TORRACA 1981).

chimico-fisica-mineralogica sono suddivise in quattro differenti ambiti di indagine: caratterizzazione globale della malta, caratterizzazione del legante, caratterizzazione di additivi e aggiunte, quantificazione e individuazione dei sali solubili.



Caratterizzazione chimico-fisico-mineralogica delle malte

Caratterizzazione globale di una malta

Descrizione petrografica

La descrizione delle caratteristiche globali di una malta viene eseguita secondo criteri ormai standardizzati avvalendosi di un approccio mineralogico-petrografico adottato dalle comuni metodologie utilizzate storicamente per la caratterizzazione delle rocce in ambito geologico⁵⁹. La Normativa Tecnica di riferimento è la UNI 11176:2006 Beni Culturali – Descrizione petrografica di una malta. La scelta del procedimento operativo per lo studio di un campione di malta viene fatta a partire da questa prima importante fase di caratterizzazione globale. Il primo passo per il procedimento di caratterizzazione è l'osservazione in microscopia ottica di sezioni lucide dei campioni. I campioni vengono catalogati, numerati, documentati fotograficamente e in osservazione allo stereo-microscopio prima di qualsiasi ulteriore lavorazione. Per ogni campione deve essere ben documentato il punto di prelievo *in situ* mediante localizzazione grafica sugli elaborati del rilievo geometrico o architettonico e mediante documentazione fotografica delle fasi di prelievo. Una volta indicizzati e descritti i campioni in laboratorio si procede al loro inglobamento in resina, necessario per consolidare il campione in vista delle successive operazioni di sezione e lucidatura. Le sezioni vengono effettuate mediante l'uso di troncatrici dotate di dischi diamantati. La sezione va eseguita nel punto che si ritiene maggiormente rappresentativo del campione stesso, per tale motivo è importante l'esame preliminare allo stereomicroscopio del campione non lavorato. La superficie della sezione viene poi lucidata a specchio mediante l'uso di una lappatrice. In tal modo si ottiene una superficie perfettamente piana per un'osservazione ottimale in microscopia ottica. Si procede quindi a caratterizzare il campione fornendo le seguenti informazioni⁶⁰:

- granulometria e la forma dell'aggregato (Fig.1.2.16);
- prima indicativa individuazione delle specie mineralogiche riconoscibili per caratteristiche morfologiche e cromatiche;
- distribuzione, l'orientazione, il grado di sfericità e angolosità dell'aggregato (Fig.1.2.17);
- prima indicativa individuazione della composizione del legante;
- evidenziazione di eventuali difetti del legante;

⁵⁹ La petrografia è la disciplina geologica che si occupa della descrizione dettagliata delle rocce, dei minerali componenti e delle tessiture osservabili in affioramento e in microscopia ottica.

⁶⁰ Nel paragrafo 2.1.2.1 vengono riprese le specifiche in elenco e spiegate dettagliatamente tutte le considerazioni connesse a tali caratteristiche in funzione della valutazione sulla qualità della malta.

- stima del rapporto legante/aggregato (Fig.1.2.15);
- presenza di eventuali aggiunte identificabili.

Dopo questa indagine iniziale si passa allo studio in sezione sottile al microscopio ottico petrografico. Il microscopio ottico petrografico lavora con luce trasmessa polarizzata. La preparazione della sezione sottile richiede una particolare abilità da parte dell'operatore, consistendo nell'inglobamento del campione in resina, nel successivo incollaggio su un vetrino e infine nella spianatura e nella lisciatura, per mezzo di una lappatrice, che portano il campione ad uno spessore massimo di 30 μm . L'osservazione in sezione sottile consente di⁶¹:

- individuare le principali caratteristiche tessiturali e composizionali del legante;
- determinare della composizione mineralogico-petrografica dell'aggregato (1.2.18);
- individuare i minerali di neoformazione (sali e ricristallizzazioni secondarie);
- quantificare e caratterizzare la porosità;
- osservare i bordi di reazione tra legante e aggregato (1.2.19)

Caratterizzazione morfologica al microscopio elettronico a scansione (SEM)⁶²

Il principio di funzionamento della microscopia elettronica a scansione si basa sul bombardamento mediante un fascio di elettroni delle superfici del campione da indagare. Quando un fascio di elettroni colpisce la superficie di un materiale si ottiene un'eccitazione degli elettroni del materiale stesso che produce emissioni di vario tipo, tra cui quelle che contribuiscono maggiormente all'imaging delle superfici in esame sono:

- Elettroni retrodiffusi: parte degli elettroni incidenti riflessa dagli atomi della superficie indagata. Il segnale arriva più intenso all'aumentare del numero atomico Z degli elementi colpiti e fornisce quindi informazioni relative alla composizione chimica del campione.
- Elettroni secondari: elettroni emessi dagli atomi del campione in seguito all'interazione energetica con gli elettroni del fascio incidente. Forniscono informazioni morfologiche delle superfici indagate, in base alla direzione della loro traiettoria.
- Raggi X caratteristici: radiazione X emessa dagli atomi del campione in seguito all'eccitazione prodotta dal bombardamento elettronico. Il segnale fornisce informazioni riguardanti la composizione chimica del campione.

⁶¹ Un'esaustiva documentazione fotografica delle caratteristiche delle malte osservabili in sezione sottile è disponibile su PECCHIONI, FRATINI, CANTISANI, 2013.

⁶² Per approfondimenti si rimanda a PINZARI 2008.

Il microscopio elettronico a scansione consente un ingrandimento massimo di 100.000X, mille volte maggiore degli ingrandimenti ottenibili in microscopia ottica. La combinazione tra i differenti segnali prodotti dal bombardamento elettronico permette un imaging dettagliato delle superfici del campione che associa alla morfologia il dato composizionale.

Nella caratterizzazione delle malte l'osservazione al SEM rappresenta uno step di approfondimento successivo alle indagini per la descrizione petrografica dei campioni. Determinate caratteristiche osservate in microscopia ottica possono infatti essere studiate dettagliatamente mediante ingrandimenti molto più spinti.

Caratterizzazione mineralogica mediante diffrazione dei raggi X (XRD)⁶³

La diffrazione dei raggi X è una tecnica analitica che si basa sull'identificazione dell'angolo di diffrazione di un fascio di raggi X incidente su un campione di materiale avente una struttura cristallina. È quindi particolarmente idonea per l'identificazione delle specie mineralogiche. L'angolo di diffrazione è funzione della distanza interplanare tra i piani del reticolo cristallino, caratteristica di ogni minerale⁶⁴. Per ogni specie mineralogica corrisponde quindi un diverso angolo di diffrazione della radiazione X incidente. L'insieme degli angoli di diffrazione e l'intensità della radiazione diffratta permettono l'identificazione delle diverse fasi cristalline presenti nel campione. Il diffrattometro a raggi X utilizza generalmente il "metodo delle polveri", che comporta la macinazione del campione. Il segnale viene elaborato in un diffrattogramma, nel quale ogni fase cristallina corrisponde a un picco di diffrazione la cui intensità (altezza) dipende in parte dall'abbondanza della specifica fase cristallina nel campione analizzato. L'analisi quindi fornisce informazioni sia sulla qualità delle specie mineralogiche presenti che sulla loro quantità relativa (analisi semiquantitativa).

⁶³ Per approfondimenti si rimanda a GALLI, MORET, ROVERSI 2014.

⁶⁴ Il fenomeno della diffrazione avviene quando viene soddisfatta l'equazione di Bragg:

$$n\lambda = 2d \sin\theta$$

Dove:

n = numero intero che indica l'ordine della diffrazione

λ = la lunghezza d'onda della radiazione incidente

d = distanza interplanare del cristallo

θ = l'angolo di diffrazione

Nella caratterizzazione delle malte si ricorre all'XRD per confermare le specie mineralogiche identificate mediante analisi petrografica in microscopia ottica e identificare le fasi mineralogiche non visibili agli ingrandimenti consentiti in microscopia ottica.

Caratterizzazione del legante

Analisi termiche: analisi termica differenziale (DTA) e termogravimetria (TGA)⁶⁵

Le analisi termiche indagano la composizione di un campione materico attraverso le sue reazioni a un riscaldamento ad alte temperature. Quest'ultimo innesca reazioni di trasformazione della materia che avvengono in corrispondenza di fenomeni di assorbimento del calore (reazioni endotermiche) o di ri-emissione del calore assorbito (trasformazioni esotermiche). Il prodotto di tali reazioni è la decomposizione di sostanze complesse in favore di sostanze più leggere, spesso volatili, a cui corrisponde una diminuzione in peso del campione. L'analisi termica differenziale (DTA) si basa sulla registrazione degli assorbimenti e delle emissioni di calore durante il processo di riscaldamento progressivo del campione. Tali fenomeni di scambio termico sono caratteristici delle sostanze presenti nel campione che possono in tal modo essere identificate. L'analisi termogravimetrica (TGA) si basa sulla registrazione delle variazioni in peso del campione durante il processo di riscaldamento progressivo. Le temperature a cui avvengono tali variazioni sono diagnostiche delle sostanze presenti nel campione. Le analisi termiche sono idonee all'analisi di materiali prodotti mediante processi termici, perché in qualche modo ripercorrono le stesse trasformazioni della materia avvenute in fase di produzione e di raffreddamento. Pertanto, sono molto efficaci identificano facilmente la calcite, l'anidrite, la portlandite e altre sostanze presenti nei leganti idraulici.

Calcimetria⁶⁶

La calcimetria è un'analisi chimica che permette la determinazione del contenuto di CaCO_3 nella malta. La prova calcimetrica viene effettuata facendo reagire con acido cloridrico la frazione di legante preventivamente isolata dal campione di malta.

⁶⁵ Per approfondimenti si rimanda a CHIARI, SANTARELLI, TORRACA 1992.

⁶⁶ La Normativa Tecnica di riferimento per le indagini calcimetriche su malta è la UNI 11140:2004 Beni Culturali-Malte Storiche: Determinazione del contenuto di anidride carbonica.

Sfruttando la reazione chimica: $\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2\uparrow$

È possibile risalire al contenuto di CaCO_3 mediante la quantificazione di anidride carbonica liberata, misurata da appositi dispositivi dell'attrezzatura sperimentale (calcimetro). Tale determinazione permette in primo luogo di stabilire la natura aerea del legante, ma soprattutto fornisce una stima del livello di carbonatazione raggiunto durante il processo di presa.

Caratterizzazione di aggiunte e additivi

Se le aggiunte possono essere individuate anche in microscopia ottica e meglio caratterizzate al SEM, in quanto non è detto che siano necessariamente componenti mineralogiche della malta, gli additivi sono quasi sempre sostanze presenti in traccia negli impasti e non visibili in microscopia. In generale, per l'analisi delle componenti in traccia le tecniche spettroscopiche sono tutte sufficientemente performanti, ma queste sostanze sono quasi sempre di natura organica all'interno delle malte. In tal caso i due principali metodi spettroscopici più idonei all'individuazione di sostanze organiche sono quelli che sfruttano l'intervallo dell'infrarosso della radiazione elettromagnetica: la spettroscopia a infrarossi a Trasformata di Fourier (FT-IR) e la spettroscopia IR-Raman⁶⁷.

Spettroscopia infrarossa a trasformata di Fourier (FT-IR)

Gli atomi costituenti le molecole dei composti chimici non sono fissati in una posizione permanente ma, piuttosto, sono soggetti a continue vibrazioni l'uno rispetto all'altro. A tali vibrazioni sono associati dei livelli energetici caratteristici per ciascun tipo di legame. Ogni tipo di legame possiede quindi un'energia vibrazionale di base caratteristica. Quando un legame è in grado di assorbire radiazione infrarossa esso viene detto infrarosso attivo. L'energia trasportata dalla radiazione infrarossa viene impiegata (pertanto assorbita) da un legame per aumentare la propria energia vibrazionale caratteristica. Ogni legame assorbe solo certe quantità di energia e non altre dalla radiazione infrarossa. Quindi, una sostanza che viene irradiata con raggi infrarossi assorbe solo determinate bande dello spettro, ciascuna delle quali indica la presenza di un determinato legame chimico, rendendo individuabile la composizione del campione. Su tale fenomeno fisico si basa la tecnica di spettroscopia infrarossa. Le molecole organiche in particolare sono ricche di legami IR attivi, caratteristica che le rende facilmente individuabili mediante FT-IR. L'acronimo FT-IR sta per

⁶⁷ Per approfondimenti si rimanda a MARASSI 2018.

Fourier Transform Infra Red. La Trasformata di Fourier è l'algoritmo matematico utilizzato per la visualizzazione dello spettro di assorbimento infrarosso.

Spettroscopia IR-Raman.

La spettroscopia infrarossa Raman si basa sempre sull'interazione tra radiazione infrarossa e livelli vibrazionali dei legami chimici intermolecolari. Tuttavia, il segnale che viene registrato deriva da un effetto dell'interazione luce-materia denominato effetto Raman⁶⁸. Fornisce pertanto informazioni quasi complementari a quelle derivanti dalla FT-IR, sulle stesse componenti chimiche.

Quantificazione e individuazione dei Sali solubili ⁶⁹

La cristallizzazione dei sali disciolti in acqua all'interno di una malta causa notevoli stress meccanici interni alla porosità del materiale generando forme di degrado che portano alla disgregazione e nei casi più gravi alla polverizzazione del materiale stesso. La causa della cristallizzazione è l'evaporazione dell'acqua, che lascia depositare e cristallizzare i sali sia all'interno dei materiali (subfiorescenza, in seguito ad un'evaporazione repentina dell'acqua) che in superficie (efflorescenza). È pertanto di fondamentale importanza perlomeno quantificare la presenza di sali nelle malte. A seguito di tali determinazioni è possibile procedere all'individuazione delle specie saline presenti, utile sia alla scelta di opportuni trattamenti desalinizzanti che alla comprensione delle cause della presenza di determinate specie saline.

Conduttivimetria e Cromatografia ionica

Le misure di conduttività di soluzioni acquose servono a stabilire se esse sono elettrolitiche, ovvero contengono ioni al loro interno. I sali disciolti in acqua si separano nelle loro componenti ioniche rendendo la soluzione acquosa elettrolitica. Tali misure vengono effettuate mediante l'uso di uno strumento da banco, conduttivimetro, che immerso in una soluzione salina è in grado di risalire alla

⁶⁸ Un fascio di radiazione incidente su un campione materiale subisce una serie di interazioni con la materia. Una parte di radiazione oltrepassa indisturbata la materia, una parte viene assorbita in funzione della composizione chimica della materia, una parte viene riflessa elasticamente (ovvero torna indietro con la stessa energia iniziale), un'altra parte viene riflessa anelasticamente (ovvero viene diffusa, tornando indietro con un'energia inferiore a quella iniziale). Il fenomeno di diffusione anelastica della radiazione da parte della materia si chiama effetto Raman e deve il suo nome al suo scopritore, il fisico indiano Chandrasekhara Venkata Raman, che nel 1928 ne descrisse il comportamento gettando le basi per i metodi di indagine spettroscopici ad esso connessi.

⁶⁹ Normativa Tecnica di riferimento: UNI 11087:2003 Beni Culturali-Determinazione del contenuto di sali solubili.

quantità di ioni presenti. La cromatografia ionica sfrutta la diversa affinità degli ioni nei confronti di sostanze diverse. Permette quindi di riconoscere e separare gli ioni presenti in una soluzione grazie alla loro affinità chimica con le sostanze introdotte in cannule all'interno della strumentazione (cromatografo ionico). Questo tipo di cromatografia è usato sia per analisi qualitative che quantitative. L'associazione delle due tecniche analitiche permette l'esatta determinazione dei sali in una soluzione. I sali vengono estratti dal campione (essiccato e macinato con mortaio) con acqua distillata. Le misure di conduttività determinano la percentuale salina in soluzione, quindi la concentrazione ionica in soluzione. Successivamente la soluzione viene sottoposta a misure di cromatografia ionica per individuare le diverse specie saline.

Caratterizzazione meccanica in situ su malte

Prove penetrometriche su malta⁷⁰

Le prove penetrometriche permettono una valutazione della resistenza della malta mediante l'utilizzo di un penetrometro che, posizionato su un giunto della malta in esame, lascia avanzare una punta nel materiale. In funzione della profondità di avanzamento è possibile stimare la resistenza della malta. Il penetrometro è costituito da una massa battente collegata ad una molla che, messa in carica manualmente, colpisce un percussore nel quale viene inserito un ago. L'ago, spinto dal percussore, avanza all'interno del giunto di malta. La profondità di penetrazione è inversamente proporzionale alla resistenza che la malta oppone all'avanzamento dell'ago. La grandezza misurata è pertanto la profondità di penetrazione dell'ago, espressa in mm, dopo un numero definito di colpi. Sul penetrometro si aggancia un corpo di misura, che consente contemporaneamente il corretto appoggio alla muratura e la lettura della misura. Attraverso l'utilizzo di una curva di correlazione fornita a corredo dello strumento, è possibile ricavare una stima indicativa della resistenza meccanica della malta, espressa in MPa, in funzione della profondità di penetrazione misurata.

Prove di pull-out su malta⁷¹

La prova consiste nell'introdurre in un giunto di malta una vite ad elica (diametro 6 mm) e nel misurare la forza necessaria per estrarla. Per l'inserimento dell'elica nel giunto viene praticando un

⁷⁰ Normativa di riferimento Fiche UIC 778-3E.

⁷¹ Normativa di riferimento RILEM 127 d.9.

foro guida con un trapano a cui segue l'introduzione dell'elica battendo colpi. Infissa l'elica alla profondità desiderata il suo estremo libero viene bloccato da un attrezzo che provoca l'estrazione dell'elica. Il carico esercitato per l'estrazione viene registrato e può essere utilizzato per la determinazione della resistenza cubica, di quella a flessione ed a trazione attraverso curve di correlazione sperimentali.

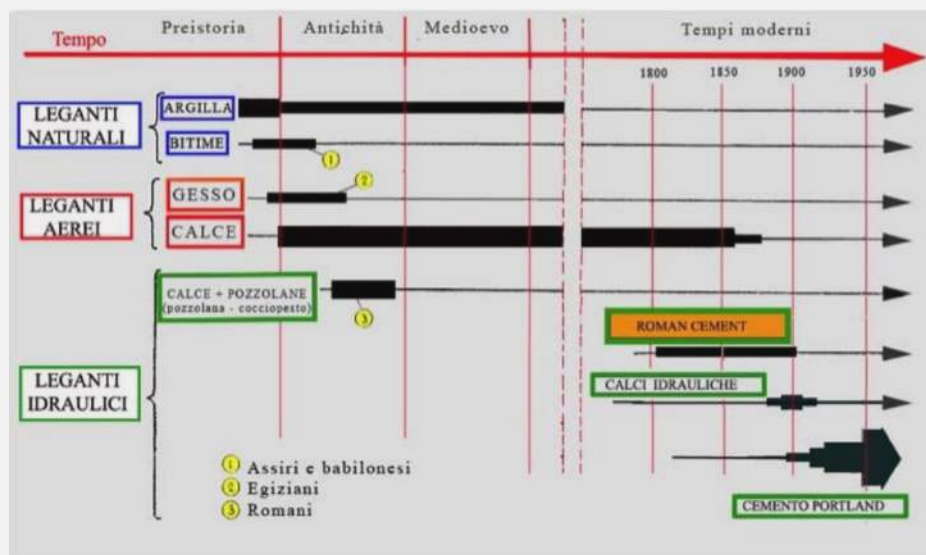


Figura 1.2.14 Schema dell'uso dei leganti nella storia dell'edilizia (PECCHIONI, FRATINI, CANTISANI 2008)

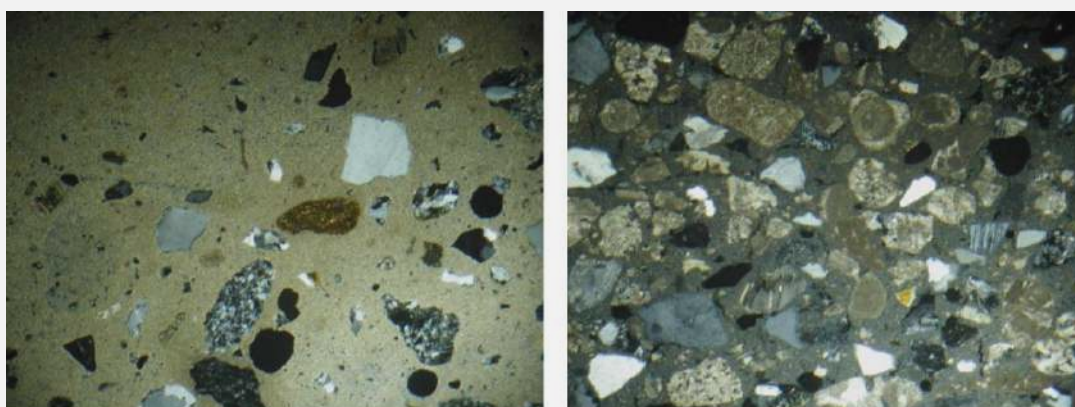


Figura 1.2.15 Immagini catturate in microscopia ottica su malte in sezione sottile. A sinistra: malta in cui il rapporto legante/aggregato è sbilanciato su un eccesso di legante (malta grassa). A destra: malta in cui il rapporto legante/aggregato è sbilanciato su un eccesso di aggregato (malta magra). (PECCHIONI, FRATINI, CANTISANI 2013)

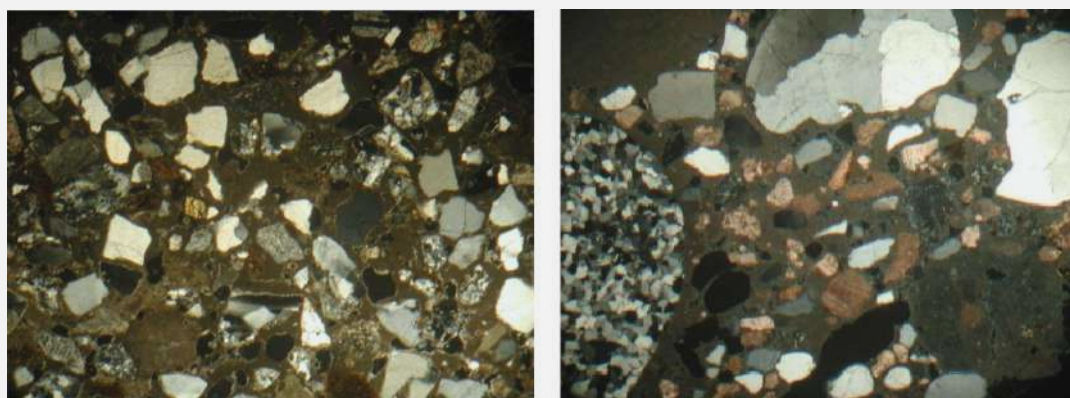


Figura 1.2.16 Immagini catturate in microscopia ottica su malte in sezione sottile. A sinistra: malta in cui la granulometria dell'aggregato è unimodale (aggregato ben vagliato). A destra: malta in cui la granulometria dell'aggregato è bimodale (aggregato mal classato). (PECCHIONI, FRATINI, CANTISANI 2013)

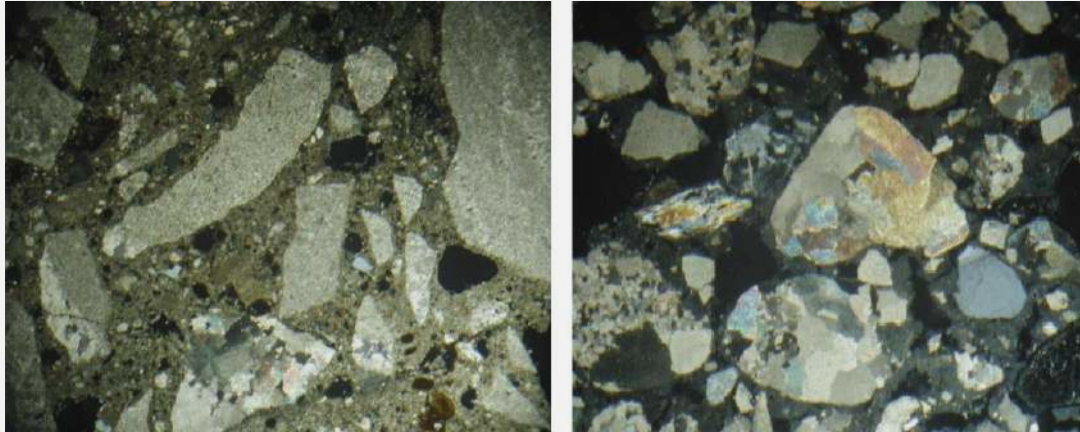


Figura 1.2.17 Immagini catturate in microscopia ottica su malte in sezione sottile. A sinistra: malta con aggregato a granuli angolosi. A destra: malta con aggregato a granuli arrotondati. (PECCHIONI, FRATINI, CANTISANI 2013)

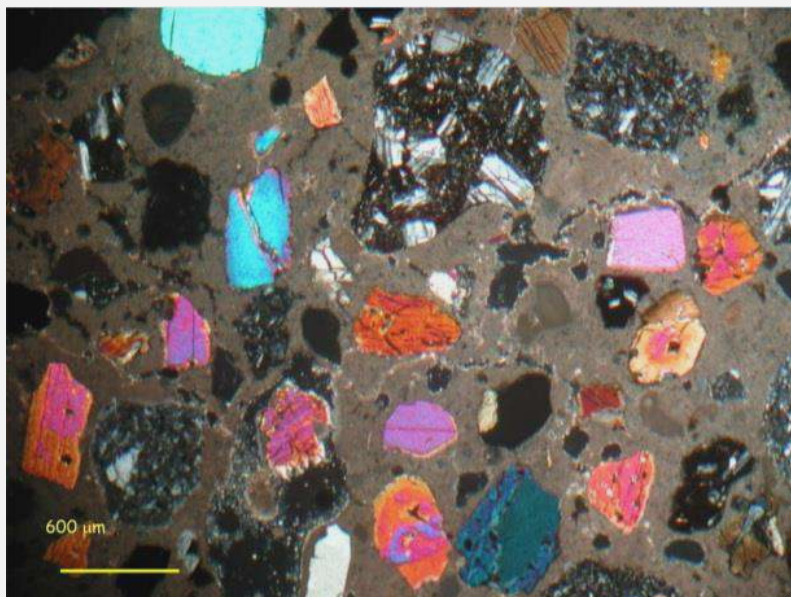


Figura 1.2.18 Immagine catturata in microscopia ottica su malta in sezione sottile. Individuazione delle specie mineralogiche costituenti l'aggregato in funzione dei colori di interferenza con la luce polarizzata trasmessa (PECCHIONI, FRATINI, CANTISANI 2013)

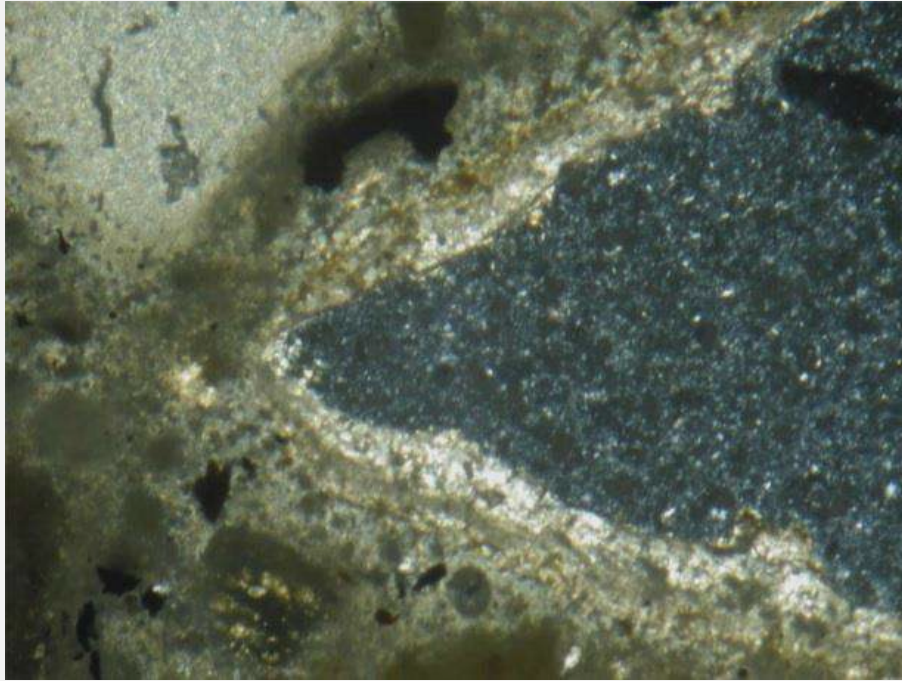


Figura 1.2.19 Immagine catturata in microscopia ottica su malta in sezione sottile. Bordo di reazione legante/aggregato (PECCHIONI, FRATINI, CANTISANI 2013)

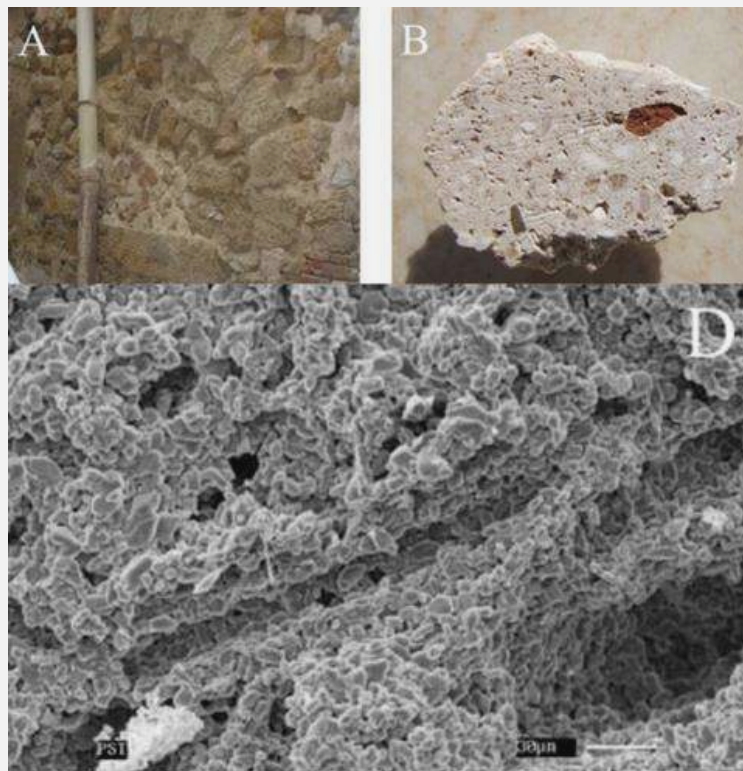


Figura 1.2.20 Caratterizzazione morfologica della superficie di una malta. Visibili tracce lasciate da fibre ormai decomposte. A: Punto di prelievo, B: Campione malta, D: dettaglio della superficie al SEM. (MONTANA, POLITO, RANDAZZO 2010)

SUPERFICI E APPARATI DECORATIVI

Qualsiasi indagine diagnostica di tipo chimico-fisico può essere in linea di principio applicata allo studio delle superfici e degli apparati decorativi architettonici, data la grande varietà di materiali, forme e tecniche decorative esistenti. Ci si sofferma qui soprattutto sulle tecniche di caratterizzazione delle superfici *in situ* in quanto non invasive e sempre più utilizzate, a tutela dei materiali e delle decorazioni. Sulla scorta dei risultati diagnostici delle misure effettuate *in situ* si può programmare una vera e propria campagna diagnostica di approfondimento necessaria ad una conoscenza approfondita dei manufatti. Le uniche tecniche invasive esposte sono quelle che permettono la caratterizzazione stratigrafica delle superfici intonacate. Segue una breve trattazione sulle tecniche di monitoraggio del microclima, di fondamentale importanza per assicurare condizioni conservative idonee agli apparati decorativi.



Caratterizzazione delle superfici in situ⁷²

Microscopia in situ

Una prima indagine microscopica delle superfici può essere effettuata mediante l'utilizzo di microscopi digitali portatili. Gli strumenti di nuova generazione sono sempre più performanti, dotati di sistemi di illuminazione led autonomi, possono funzionare se connessi mediante cavo USB a un pc, un tablet e per alcuni modelli anche a smartphone. I migliori permettono ingrandimenti fino a 100X. Ingrandimenti superiori sono consentiti solo tramite elaborazione software delle immagini riprese. Nonostante la qualità delle immagini non sia paragonabile a quella ottenibile con un microscopio da laboratorio, l'indagine con microscopio portatile può essere un primo passaggio pre-diagnostico che fornisce nell'immediato informazioni dettagliate sulle caratteristiche superficiali e aiuta all'individuazione di aree da indagare con altre tecniche in situ o da campionare per ulteriori approfondimenti diagnostici di laboratorio.

Ripresa fotografica in luce radente

La fotografia in luce radente è una delle tecniche diagnostiche che per prime sono state utilizzate nel campo delle indagini sui beni culturali, grazie alla sua semplicità di esecuzione, economicità e qualità dei risultati ottenibili. Si effettua illuminando l'oggetto in studio da un solo lato con angoli di incidenza della radiazione quasi paralleli alla superficie. In questo modo, nella ripresa fotografica si evidenziano gli aspetti tridimensionali delle superfici (Fig.1.2.21), quali:

- i dissesti e i cedimenti della struttura portante;
- la stesura degli strati di intonaco e la loro finitura;
- le 'giornate' e la loro sequenza negli affreschi;
- le incisioni dirette e indirette per il riporto del disegno negli affreschi o per la lavorazione delle finiture architettoniche;
- i segni di lavorazione sugli elementi decorativi lapidei;
- lo spessore e la consistenza di dorature o altri elementi applicati con tecniche varie;
- i sollevamenti e le cadute della pellicola pittorica in affresco e degli strati di tinta nelle superfici non decorate.

⁷² Per approfondimenti si rimanda a PICCOLO, PUPPIN 2008.

Colorimetria e Spettrofotometria

Una superficie illuminata da luce visibile assorbe una certa quantità di radiazione e riflette il resto delle componenti del fascio incidente. In base a questo fenomeno fisico noi siamo in grado di percepire il colore, in quanto riconosciamo, per esempio, il colore rosso di un oggetto poiché quello è il prodotto del *range* della radiazione visibile incidente riflessa. Un colorimetro per l'analisi delle superfici è uno strumento dotato di un obiettivo che viene posto a contatto con la superficie nel punto che si vuole indagare. L'obiettivo possiede una serie di adattatori per allargare o restringere l'ampiezza della superficie analizzata. I più sofisticati sono in grado d'indagare superfici puntuali mediante l'utilizzo di fibre ottiche. L'area inquadrata viene illuminata da una sorgente interna allo strumento con luce nella banda del visibile. Il segnale raccolto dallo strumento è la riflettanza della luce, ovvero la banda dello spettro riflessa dalla superficie. Mediante un'elaborazione *software* interna allo strumento il segnale viene tradotto in una tripletta di coordinate di identificazione del colore secondo lo spazio cromatico CIE $L^*a^*b^*$ (standard definito dalla Commission Internationale de l'Eclairage, 1976) (Fig.1.2.22), ossia luminosità (L^*), stimolo verde-rosso (a^*) e stimolo blu-giallo (b^*). L'acquisizione colorimetrica permette non solo di conoscere e fissare quantitativamente e in modo univoco e universalmente riconosciuto il colore, ma anche di documentare e quantificare sotto il profilo cromatico l'effetto di successivi interventi di pulitura dell'opera, così come gli effetti causati dall'invecchiamento, da patine di sporco e altri fenomeni di alterazione. Uno spettrofotometro funziona in modo analogo a un colorimetro con la differenza che la luce emessa ai fini dell'indagine spesso si allarga ne *range* del vicino IR e vicino UV. Questo perché l'*output* di misura di uno spettrofotometro non è legato solo alla terna delle coordinate colorimetriche CIE-Lab, ma anche al vero e proprio spettro di riflettanza della superficie, che offre ulteriori informazioni anche sulla composizione dell'elemento.

Imaging multispettrale

Le tecniche di *imaging* multispettrale rappresentano l'evoluzione tecnologica delle riprese fotografiche di superfici illuminate con fonti di illuminazione nella banda del visibile dell'infrarosso e dell'ultravioletto. Ad oggi sono disponibili fotocamere digitali dotate di appositi sensori e filtri per la registrazione contemporanea dei seguenti segnali:

- radiazione visibile riflessa (normale fotografia);
- radiazione IR riflessa (riflettografia infrarossa);

- radiazione UV riflessa;
- radiazione di fluorescenza UV.

Questi segnali erano, precedentemente allo sviluppo tecnologico dei sensori CCD delle fotocamere digitali, alla base di singole indagini diagnostiche che, restituendo un *imaging* in falso colore, fornivano importanti informazioni sulla composizione chimica superficiale, nonché rendevano possibile la visione di dettagli non visibili a occhio nudo. Ad oggi tutte queste tecniche sono integrate in un unico dispositivo di ripresa, rendendo la lettura dei dati rapida e soprattutto integrata.

Spettroscopia in situ

Le spettroscopie FT-IR e Raman già illustrate nel precedente paragrafo sono eseguibili anche *in situ*. Come accade per i colorimetri e gli spettrofotometri, gli spettroscopi portatili sono dotati di obiettivo di misura che si appoggia direttamente sulle superfici da indagare. Al posto di un fascio di luce visibile questi illuminano le superfici con radiazione IR e registrano la componente riflessa. Per differenza, un *software* dedicato ricostruisce gli spettri di assorbimento fornendo l'informazione sulla composizione molecolare delle sostanze in superficie. Come già detto, il segnale è molto sensibile alle componenti organiche, affatto rare sulle superfici degli apparati decorativi, in quanto presenti sia come sostanze leganti o protettive naturali stese in fase di esecuzione dell'opera che come sostanze applicate durante interventi di restauro. Il primo tipo di spettroscopia *in situ* sperimentata nel settore dei beni culturali è stata la Spettroscopia di fluorescenza X (XRF). In questo caso la radiazione emessa dallo strumento è di tipo X. Ogni elemento chimico della superficie emette, a seguito dell'irraggiamento incidente, raggi X caratteristici che permettono la sua identificazione. Il fenomeno è lo stesso provocato dal bombardamento delle superfici con elettroni nel SEM. La tecnica è quindi elementare, ovvero individua solo gli elementi chimici, non i composti, perché sono i singoli elementi a produrre il segnale. È pertanto adatta alla determinazione di composti noti, che ci si aspetta di trovare sul campione. Non è adatta all'individuazione di composti incogniti. Questo si traduce nel campo del restauro ad esempio nell'analisi dei pigmenti di un affresco, di cui sono note le composizioni chimiche. In effetti il principale impegno dell'XRF *in situ* è storicamente o l'analisi dei pigmenti inorganici, che tipicamente sono impiegati in affresco.

Caratterizzazione stratigrafica degli intonaci

Quando si parla di intonaco spesso si pensa erroneamente che esso sia un semplice “strato di sacrificio” il cui unico scopo sia quello di proteggere i materiali sottostanti dalle azioni atmosferiche. Invece gli intonaci, anche quelli non particolarmente decorati, contribuiscono fattivamente alla figuratività degli edifici non solo in termini cromatici ma anche tessiturali. Spesso sono affiancati da parti di muratura a vista o da cornici e partiture realizzate sempre ad intonaco che staccandosi dal fondo producono percettivamente una vera e propria architettura della superficie intonacata⁷³. Gli intonaci sono materiali stratificati ed è pertanto opportuno caratterizzarli con approccio stratigrafico⁷⁴. *In situ*, storicamente nei cantieri di restauro vengono eseguiti tasselli stratigrafici per la ricostruzione della stratigrafia delle superfici. Campionando gli intonaci si può poi studiare dettagliatamente in laboratorio la composizione relativa ad ogni strato. Tutto ciò vale anche per le superfici affrescate, anche se le operazioni di tassello e campionatura non sono sempre eseguibili e quando vengono consentite vanno ridotte al minimo di invasività.

Tasselli stratigrafici

I tasselli stratigrafici servono ad individuare la successione a ritroso delle ritinteggiature sino all'originaria. Ovviamente questo è possibile solo su intonaci antichi e non sostituiti integralmente di recente (come purtroppo spesso accade). Il tassello può inoltre a seconda delle esigenze spingersi a indagare anche le singole stratificazioni dell'intonaco sino al raggiungimento della cortina muraria. La campagna stratigrafica consente quindi di risalire al numero esatto di strati sovrapposti in superficie e analizzarne a vista le caratteristiche cromatiche e materiche. Durante il procedimento ogni nuovo strato, riportato in superficie mediante l'uso di un bisturi o di un ablatore ad ultrasuoni per gli strati più tenaci, deve essere indicizzato e documentato fotograficamente (Fig.1.2.23). Chiaramente, per una caratterizzazione più completa possono essere applicate tutte le tecniche

⁷³ Per approfondimenti si rimanda a DOGLIONI ET AL. 2017

⁷⁴ L'esecuzione a regola d'arte di un intonaco prevede la stesura di tre strati a partire dal paramento murario:

1. Rinzafo: primo strato dell'intonaco dello spessore di 1 o 2 cm, realizzato con aggregato grossolano che conferisce scabrosità al materiale tale da favorire l'adesione con gli elementi della muratura e con i successivi strati superficiali.
2. Arriccio: secondo strato di spessore inferiore al centimetro.
3. Intonachino: stato di finitura di pochi millimetri di spessore, realizzato con sabbia di granulometria molto fine per favorire la rasatura della superficie.

A questi tre strati si aggiungono poi gli strati di tinta. Su un intonaco storico possono trovarsi più d'uno sovrapposti a seguito di verse ritinteggiature eseguite nel corso del tempo.

diagnostiche superficiali già esposte: microscopia *in situ*, colorimetria, spettrofotometria, indagini spettroscopiche.

Caratterizzazione in sezione stratigrafica

L'analisi stratigrafica di un intonaco in laboratorio viene effettuata producendo, a partire da campioni opportunamente prelevati e indicizzati in situ, una o più sezioni lucida stratigrafiche (*cross-section*), ovvero sezionate in direzione perpendicolare al piano della superficie, in modo da intercettare tutti gli strati sovrapposti. In microscopia ottica viene verificato il numero degli strati sovrapposti, vengono determinati gli spessori e individuate le patine o le incrostazioni (croste nere, patine ad ossalati, depositi superficiali coerenti) (Fig.1.2.24). Per ogni strato si procede alla caratterizzazione in microscopia ottica e poi in sezione sottile al microscopio ottico polarizzatore esattamente come si fa in generale per le malte (Paragrafo 1.2.2). Ogni altra tecnica valida per lo studio delle malte può ovviamente essere applicata all'intonaco, che dal punto di vista materico è identico, se non per la stesura, che appunto avviene per stratificazioni successive. Ad esempio, una tecnica di indagine utile è l'analisi della sezione stratigrafica al SEM con sovrapposizione di mappature microanalitiche in falso colore, elaborate a partire dal segnale di radiazione X emesso dal campione in funzione della composizione chimica. Spesso in questo modo si evidenziano visivamente caratteristiche composizionali differenziate per singolo strato.

*Monitoraggio microclimatico*⁷⁵

Le attività di monitoraggio microclimatico sono state tra le prime applicazioni scientifiche sistematicamente richieste dal mondo della conservazione per determinare l'impatto dei fattori ambientali agenti sui beni culturali⁷⁶. L'interazione ambiente-materia determina il raggiungimento, nel tempo, di uno stato di equilibrio di cui le manifestazioni di degrado sono spesso l'effetto visibile. Un contributo, molto negativo in termini conservativi, al sistema ambiente-bene culturale è stato purtroppo quello di origine antropica. Il peggioramento della qualità dell'aria dalla rivoluzione industriale ad oggi ha accelerato fortemente i processi di degrado dei materiali storici, in particolare quelli direttamente esposti all'azione degli agenti atmosferici. I gas inquinanti maggiormente responsabili dell'attivazione di processi degradativi dei materiali sono gli ossidi di zolfo e gli ossidi di azoto (SO_x e NO_x). Tali inquinanti danno luogo, in determinate condizioni igrometriche, alla formazione di acidi aggressivi per i materiali lapidei, soprattutto di natura carbonatica. Tali inquinanti sono negli ultimi anni notevolmente diminuiti in atmosfera grazie all'utilizzo della marmitta catalitica per il traffico veicolare e di altri accorgimenti nei processi industriali (non sempre rispettati tuttora). Tuttavia, anche queste variazioni di processo hanno prodotto l'aumento di nuovi contaminanti come le polveri sottili carboniose che favoriscono la formazione di depositi incrostanti. Anche i fattori naturali di tipo fisico, chimico e biologico contribuiscono in modo decisivo alla formazione di degrado materico. Per comprendere e valutare l'impatto di tutti i fattori ambientali, naturali e antropici che agiscono congiuntamente è necessario misurare i valori e le variazioni nel tempo dei diversi parametri. Ciò può essere effettuato negli interni di un ambiente, monitoraggio microclimatico indoor, finalizzato alla conservazione dei beni mobili e degli apparati decorativi, o in esterno, monitoraggio

⁷⁵ Per approfondimenti si rimanda a LORUSSO 2002.

⁷⁶ L'importante attività di monitoraggio microclimatico sui beni culturali ha prodotto nel tempo una gran quantità di Norme Tecniche di riferimento molto utili all'esecuzione delle campagne di misura dei parametri ambientali. Si riportano di seguito le principali:

- UNI 10586:1997 - Condizioni climatiche per ambienti di conservazione di documenti grafici e caratteristiche degli alloggiamenti.
- UNI 10829:1999 - Beni di interesse storico e artistico - Condizioni ambientali di conservazione - Misurazione ed analisi.
- UNI EN 15757:2010 - Conservazione dei Beni culturali - Specifiche concernenti la temperatura e l'umidità relativa per limitare i danni meccanici causati dal clima ai materiali organici igroscopici
- UNI EN 15758:2010 - Conservazione dei Beni culturali - Procedure e strumenti per misurare la temperatura dell'aria e quella della superficie degli oggetti.
- UNI EN 16242:2013 - Conservazione dei Beni culturali - Procedure e strumenti per misurare l'umidità dell'aria e gli scambi di vapore tra l'aria e i Beni culturali.

microclimatico outdoor, finalizzato alla conservazione di tutte le superfici. I parametri microclimatici fondamentali la temperatura, l'umidità relativa, l'illuminazione, la velocità dell'aria (indoor) o del vento (outdoor), la quantità di pioggia e la presenza di inquinanti (outdoor).

Per quanto riguarda la sensoristica utilizzata per la misurazione dei suddetti parametri si dispone di:

- sensori di temperatura a contatto, posti in contatto fisico con le superfici;
- sensori di temperatura remoti o a infrarossi per le superfici;
- strumenti di misurazione della temperatura dell'aria;
- strumenti di misurazione dell'umidità assoluta nell'aria (igrometri) ;
- strumenti di misurazione dell'umidità relativa nell'aria (di fondamentale importanza per il calcolo del punto di rugiada, ovvero la temperatura alla quale, per le condizioni termoigrometriche registrate, si attivano fenomeni di condensa)⁷⁷ ;
- strumenti di misurazione dell'irraggiamento naturale o artificiale (radiometri) ;
- strumenti per la misurazione degli spostamenti di aria (anemometri) ;
- sensori (o filtri) per il rilievo delle sostanze inquinanti.

Indipendentemente dalla complessità e quantità di strumentazione disponibile, il monitoraggio microclimatico va oculatamente progettato e programmato, perché spesso richiede tempi lunghi.

⁷⁷ I fenomeni di condensazione dell'acqua, molto temuti soprattutto per la conservazione di superfici pregiate, si formano quando una superficie si raffredda fino a raggiungere il punto di rugiada. Il punto di rugiada si determina a partire dai dati di temperatura superficiale e umidità relativa dell'aria mediante l'utilizzo di un diagramma (diagramma psicrometrico).

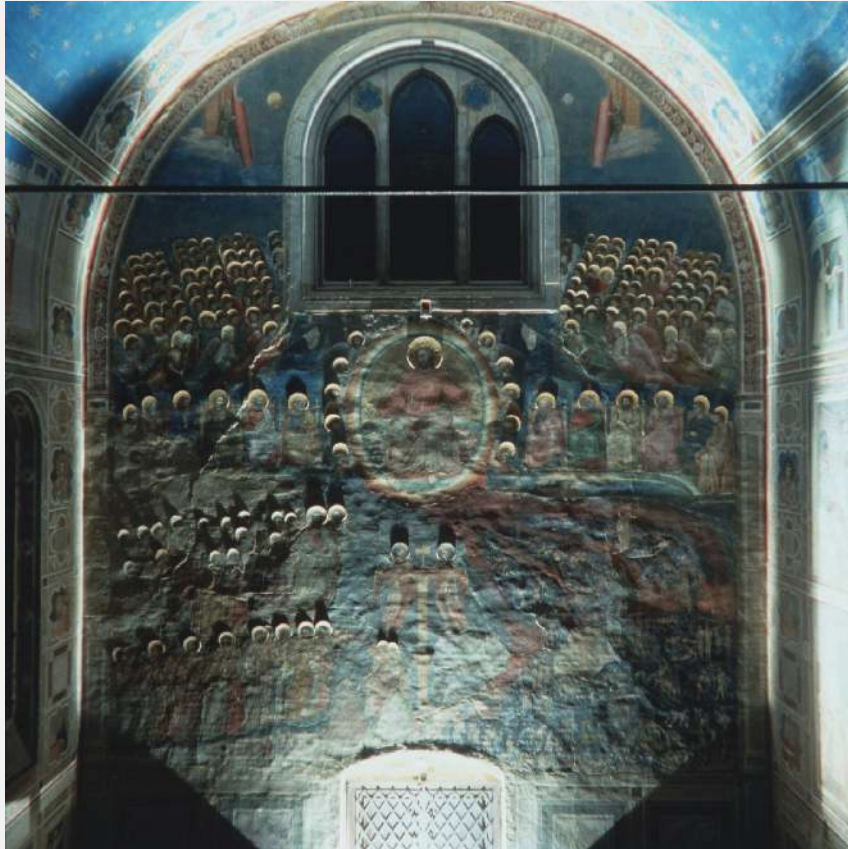


Figura 1.2.21 Ripresa fotografica in luce radente della parete di controfacciata della Cappella degli Scrovegni effettuata prima dell'ultimo restauro concluso nel 2002. Fonte: <http://www.alphaconsult.it/Scrovegni/Documentazione/40-Scoppola/40.html> (Data ultima consultazione 21/07/20)

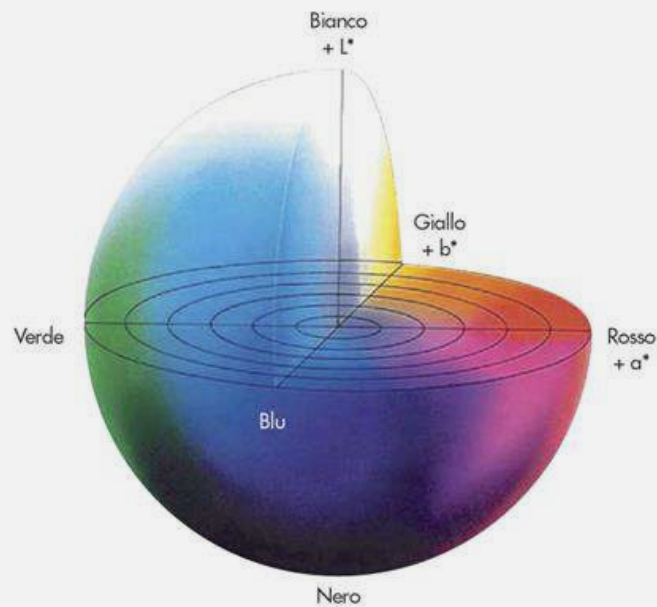


Figura 1.2.22 Spazio CIE L*a*b* per la determinazione univoca del colore.



Figura 1.2.23 Esempio di tassello stratigrafico su intonaco. Fonte: <http://www.dinomolinarirestauratore.com/2016/12/29/le-indagini-stratigrafiche/2-esempio-di-stratigrafia/> (Data ultima consultazione 21/07/20)

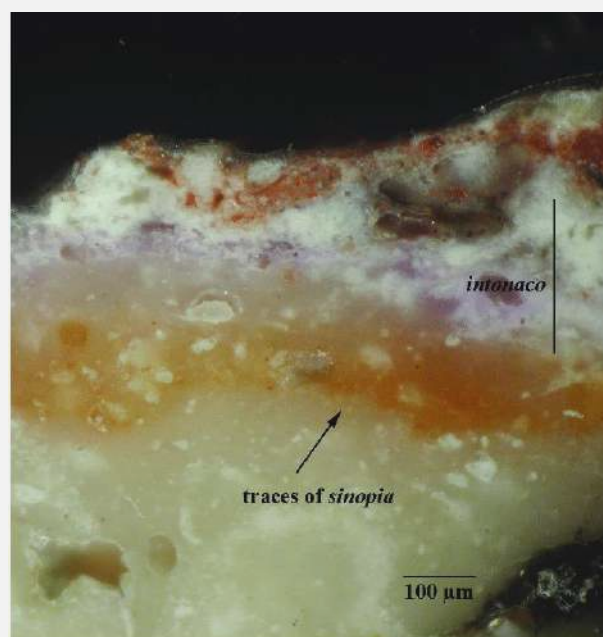


Figura 1.2.24 Sezione stratigrafica di un intonaco affrescato archeologico, dal sito di Gla (Grecia). Fotografia da microscopio ottico (BRISBAERT 2006)

1.2 Diagnostica e tecnologie

A margine della definizione della diagnostica per i beni culturali va fatta una breve precisazione di carattere lessicale e concettuale. Nel presente capitolo la parola ‘tecnica’ è stata utilizzata per ben cinquanta volte. Risulta pertanto evidente che quando si parla di diagnostica si stia automaticamente parlando dell’insieme di tecniche di indagine scientifica per lo studio dei materiali finalizzate alla conoscenza degli stessi e alla diagnosi delle patologie di cui sono affetti. La tecnica, dal greco τέχνη, *téchne*, ovvero arte, nel senso di perizia, saper fare, saper operare, è l’insieme delle norme applicate e seguite in un’attività, sia essa esclusivamente intellettuale o anche manuale. Quindi in ambito diagnostico la parola tecnica sta per ‘iter procedurale’ relativo ad azioni che, per mezzo di conoscenze scientifiche acquisite e dotazioni tecnologiche disponibili, permette di conseguire l’obiettivo di conoscenza e diagnosi preposto. Spesso, però, in ambito diagnostico, anche in letteratura, compare la parola tecnologia erroneamente usata come sinonimo di tecnica, Questo avviene in realtà in modo generalizzato, ma occorre fare delle distinzioni. La natura etimologica del termine tecnologia deriva da *tèchne* e *logos*, letteralmente discorso sul saper fare. Oggi si intende per tecnologia l’applicazione industriale di una scienza. La tecnologia permette di produrre macchine applicando i principi della ricerca scientifica teorica. Per fare un esempio pratico in campo diagnostico: la tecnica spettroscopica di fluorescenza dei raggi X può essere condotta *in situ* mediante l’utilizzo del prodotto tecnologico industriale ‘spettroscopio XRF portatile’. L’insieme delle misure effettuate *in situ* può essere elaborato mediante l’utilizzo di tecnologie informatiche e software dedicate. Come già detto in chiusura del paragrafo 1.1, lo sviluppo tecnologico degli ultimi 40 anni ha dato una grande spinta ai processi diagnostici. Soprattutto lo sviluppo delle tecnologie informatiche ha consentito una rapida e ottimizzata elaborazione dei dati, un notevole miglioramento dell’*imaging* digitale e grazie alle ultime acquisizioni nel campo dell’intelligenza artificiale si stanno testando sistemi di *machine learning* che permettono ad esempio il riconoscimento automatizzato di dettagli estratti da immagini riprese in microscopia⁷⁸. Gli avanzamenti in campo tecnologico hanno coinvolto i settori del rilievo architettonico rivoluzionandone le pratiche operative fino al recente avvento dell’uso di droni e di robotica dedicata, a cui è dedicato un paragrafo di questa tesi (2.3.2) in relazione all’utilizzo di queste tecnologie in emergenza sismica.

⁷⁸ ANDREW ET AL. 2017

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- ALESSANDRINI 2011: Alessandrini G.; *La conservazione dei beni culturali e la normativa tecnica: passato, presente e futuro*; U&C n°7, 2011; pp. 27-42
- ANDREW ET AL. 2017: Andrew C. et Al.; *The usage of modern Data Science in segmentation and classification: Machine Learning and Microscopy*; Microscopy and Microanalysis; n° 23, 2017; pp. 156-167
- ARTIOLI, MARABELLI, MEUCCI 1982: Artioli D., Marabelli M., Meucci C. ; *Fattori ambientali e stato di conservazione della Cappella degli Scrovegni*; in Giotto a Padova, Bollettino d'Arte, Serie Speciale n°2, Ministero per i Beni Culturali e Ambientali; Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, 1982.
- AUGUSTI 1963: Augusti S.; *Les méthodes d'analyse appliquées aux oeuvres d'art et aux antiquités*, in *Recent advances in conservation*, Ed. Thomson, Londra, 1963; p.20
- AUGUSTI 1935: Augusti S.; *Metodo sistematico per il riconoscimento microchimico dei colori minerali*, in *Mikrochemie*, 17, 1935, pp. 344-355
- BADALINI, BARBÒ, DEL CURTO 2009: Badalini J., Barbò S., Del Curto D.; *La prova resistografica per l'analisi e la diagnostica di strutture lignee in opera: letteratura, nomenclatura, applicazioni sul costruito storico*; Atti del XXV Convegno di Studi Scienza e Beni Culturali, Bressanone, 2009; pp. 401-411
- BARTOLINI ET AL. 2003: Bartolini M. et Al.; *Misure di microcondensazione capillare e controlli elettrochimici per il restauro dei Bronzi di Riace*; in *I Bronzi di Riace, Restauro come Conoscenza*; Artemide Edizioni, 2003.
- BASILE 2007: Basile G., *Restauri in S. Francesco ad Assisi. Il Cantiere dell'Utopia*; Quattroemme, 2007
- BASILE 2003: Basile G.; *Il restauro della Cappella degli Scrovegni*; Skira editore, 2003
- BASILE, GIANDOMENICO 1998: Basile G., Giandomenico N.; *Il Cantiere dell'Utopia, Notizie sul cantiere dei dipinti in frammenti della Basilica Superiore di S. Francesco in Assisi*; Ministero per i Beni Culturali e Ambientali, 1998
- BATTISTI 2019: Battisti A.; *Diagnostica delle strutture esistenti*; Maggioli Editore; 2019
- BELLINI 1986: Bellini A.; *Tecniche della conservazione*; Franco Angeli Editore, Milano, 1986
- BENSI 1996: Bensi P.; *Scienziati e restauratori nell'Italia dell'Ottocento, una difficile convivenza*, in *Giovanni Secco Suardo. La cultura del restauro tra tutela e conservazione delle opere d'arte*, atti del convegno internazionale di studi, Bergamo 9-11 marzo 1995, *Bollettino d'Arte* supplemento al n. 98, 1996, pp. 25-32
- BERTI, FIORAVANTI, MACCHIONI 2017: Berti S., Fioravanti M., Macchioni N.; *La struttura anatomica del legno ed il riconoscimento dei legnami italiani di più corrente impiego*; CNR-Invalsa, 2017

- BIANCHETTI 2005: Bianchetti P. L.; *L'intonaco di preparazione nel ciclo pittorico di Giotto nella Cappella degli Scrovegni*; in *Giotto nella Cappella degli Scrovegni: materiali per la tecnica pittorica*; *Bollettino d'Arte*, Serie Speciale n°3, Ministero per i Beni Culturali e Ambientali; Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, 2005.
- BOITO 1893: Boito C.; *Questioni pratiche di belle arti*; Hoepli, Milano, 1893
- BON VALSASSINA 2006: Bon Valsassina C.; *Restauro made in Italy*; Electa, 2006
- BRAGA, DOLCE, MASI 1993: Braga F., Dolce M., Masi A.; *Interpretazione statistica di prove sperimentali per l'accertamento della resistenza a taglio della muratura di edifici esistenti*; 1993
- BRICCOLI BATI, TONIETTI 1997: BRICCOLI BATI S., TONIETTI U.; *Experimental method for estimating in situ tensile force in tie-rods*; *Journal of Engineering*, n°23; pp.47-56
- BRISBAERT 2006: Brisbaert A.; *Lapis Lazuli in an enigmatic Purple Pigment from a thirteenth-century BC Greek Wall Painting*; *Studies in Conservation* n° 51, 2006; pp. 252-266
- BURRAGATO, BALLARINO, MARAS 1999: BURRAGATO F., BALLARINO P., MARAS A.; *Il pigmento azzurro nel Giudizio Universale di Michelangelo: il Lapis Lazuli*; in *Michelangelo e la Cappella Sistina: documentazione e interpretazione*; De Agostini Ed., 1999
- CAMPANELLA ET AL. 2007: Campanella L. et Al; *Chimica per l'arte*; Zanichelli, 2007
- CANEVA, NUGARI, SALVADORI 1994: Caneva G., Nugari M.P., Salvadori O.; *La biologia nel restauro*; Nardini Editore, 1994
- CANGI 2005: Cangi G.; *Il manuale del recupero strutturale e antisismico*; dei, tipografia del genio civile, 2005
- CAYGILL 1981: Caygill M.; *The Story of the British Museum*; British Museum Press, Londra; 1981
- CANTÙ 1845: Cantù C.; *Trattato dei monumenti di archeologia e belle arti*; Editori Giuseppe Pomba e C.; Torino, 1845
- CHÈRON 1920: Chéron A.; *La radiographie des tableaux*, Académie des Sciences, n. 172, 1920, pp. 57-59
- CHIARI, SANTARELLI, TORRACA 1992: Chiari G., Santarelli M.L., Torraca G.; *Caratterizzazione delle malte antiche mediante l'analisi di campioni non frazionati*; in *Materiali e Strutture* n°2, Anno 3, 1992; pp. 111-137
- COLALUCCI 1992: Colalucci G.; *Tecniche di restauro della Cappella Sistina*; in *La Cappella Sistina, i primi restauri: la scoperta del colore*; Istituto Geografico De Agostini, Novara, 1992
- CUCUZZA, MEDRI 2006: Cucuzza N., Medri M.; *Archeologie. Studi in onore di Tiziano Mannoni*; EDPuglia; Bari, 2006
- DAMOUR 1865: Damour A.A.; *Sur la composition des haches en pierre trouvées dans le monuments celtiques et chez le tribus sauvages*; *Comptes rendus des séances de l'Académie de Sciences*; Tome LXI, 1865
- DAVY 1815: Davy H.; *Some experiments and observations on the colours used in painting by the ancients*; *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Volume 105, anno 1815; pp. 97-120
- DE VECCHI 1996: De Vecchi P.; *La Cappella Sistina: il restauro degli affreschi di Michelangelo*; Rizzoli, Milano 1996

- DEWILD 1897: Dewild A.M.; *Testing Pictures by the Roentgen Rays*, in *Electrical Review*, Londra 1897
- DOGLIONI, SCAPPIN, SQUASSINA, TROVÒ 2017: Doglioni F., Scappin L., Squassina A., Trovò F.; *Conoscenza e restauro degli intonaci e delle superfici murarie esterne di Venezia. Campionature, esemplificazioni, indirizzi di intervento*; Il Prato Editore, 2017
- EIBNER 1935: Eibner A.; *L'Analyse Microchimique des Colours*, in *Mouseion*, 29-30, Parigi, 1935, pp. 113-126
- EIBNER 1933: Eibner A.; *Les rayons ultraviolets appliqués à l'examen des couleurs et des agglutinants*, in *Mouseion*, 21-22, Parigi, 1933, pp. 32-68.
- EIBNER 1931: Eibner A.; *L'examen microchimique de tableaux et décorations murales*, in "Mouseion", 13-14, Parigi, 1931, pp. 70-92
- FABRI COLABICH, PROSDOCIMI, SACCOMANNI 1964: Fabbri Colabich G., Prosdocimi A., Saccomanni G.; *I recenti lavori di restauro alla Cappella degli Scrovegni e le indagini esperite per la sua conservazione*; Società Cooperativa Tipografica, Padova, 1964.
- FIORANI 2009: Fiorani D.; *Restauro e tecnologia in architettura*; Carocci Editore, Roma, 2009
- FIorentINO 2003: Fiorentino A.; *Nanofossili calcarei nelle terre di fusione dei Bronzi di Riace*; in *I Bronzi di Riace, Restauro come Conoscenza*; Artemide Edizioni, 2003
- FORMIGLI 1984: Formigli E.; *La Tecnica di costruzione delle statue di Riace*; in *Due Bronzi da Riace, Bollettino d'Arte*, Serie Speciale n°3, Ministero per i Beni Culturali e Ambientali; Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, 1984
- GALLI, MORET, ROVERSI 2014: Galli S., Moret M., Roversi P.; *Cristallografia: la visione a raggi X*; Zaccaria Editore, Napoli, 2014
- GARZIERA, COLLINI 2009: Garziera R., Collini L.; *Identificazione della tensione delle catene di edifici storici mediante analisi modale*; Atti della 13° PnD-Conferenza Nazionale sulle Prove non Distruttive, 2009; pp. 93-102
- GETTENS, STOUT 1936: Gettens R.J., Stout G.L.; *The stage microscope in the routine examination of paintings*, in *Technical Studies in the field of fine arts* n°4, 1936; pp. 207-233
- GOFFER 1980: Goffer K.; *Archaeological Chemistry*; John Wiley & Sons, 1980
- GOPALAN 2017: Gopalan K.; *Principles of radiometric dating*; Cambridge University Press, 2017
- HOURS MIEDAN 1980: Hours Miedan M.; *Analyse scientifique et Conservation de Peintures*, in Catalogo della mostra AA.VV. *La Vie mystérieuse des chefs-d'oeuvre. La science au service de l'art*; Editions del la Réunion des Musées nationaux; Parigi, 1980
- HOURS MIEDAN 1957: Hours Miedan M.; *A la découverte de la peinture par les méthodes physiques*, *Arts et métiers graphiques*; Flammarion, Parigi, 1957
- LAURIE 1932: Laurie A.P.; *Un laboratoire pour l'examen des peintures. Appareils pour les rayons X*, *Museion*, Vol. 17-18, Parigi, 1932

- LOMBARDI, BIANCHETTI, VIDALE 2003; Lombardi G., Bianchetti P. L., Vidale M.; *Le terre di fusione dei Bronzi di Riace*; in *I Bronzi di Riace, Restauro come Conoscenza*; Artemide Edizioni, 2003
- LORUSSO 2002: Lorusso S.; *La diagnostica per il controllo manufatto-ambiente. Alcune applicazioni nel settore dei beni culturali*. Pitagora Editrice; 2002
- MAIERHOFER, LEIPOLD 2001: Maierhofer C., Leipold S.; *Radar Investigation of masonry structures*; *NTD&E International*, n°34, 2001; pp. 139-147
- MANCINELLI 1992: Mancinelli F.; *Michelangelo all'opera: tecnica e colore*; in *La Cappella Sistina, i primi restauri: la scoperta del colore*; Istituto Geografico De Agostini, Novara, 1992
- MANNONI 1984: Mannoni T.; *Le terre di riempimento delle statue e i frammenti ceramici. Analisi mineralogico petrografiche in relazione alla provenienza dei Bronzi*; in *Due Bronzi da Riace, Bollettino d'Arte*, Serie Speciale n°3, Ministero per i Beni Culturali e Ambientali; Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, 1984
- MARABELLI ET AL. 2005: Marabelli M. et Al.; *La tecnica pittorica di Giotto nella Cappella degli Scrovegni: studio dei materiali*; in *Giotto nella Cappella degli Scrovegni: materiali per la tecnica pittorica; Bollettino d'Arte*, Serie Speciale n°3, Ministero per i Beni Culturali e Ambientali; Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, 2005
- MARASSI 2018: Marassi F.; *Il restauro del bene culturale. Identificazione, datazione e attribuzione attraverso analisi archeometriche micro-Raman e spettroscopia infrarossa FT-IR*; youcanprint, 2018
- MARIANI 1937: Mariani V.; *I raggi X e la critica d'arte*, in *Emporio* N°85, 1937; pp.187-196
- MATTEINI, MOLES 2007: Matteini M., Moles A.; *La chimica nel restauro*; Nardini Editore; 2007
- MELLO 2003: MELLO E.; *Studio metallografico, analitico e microanalitico, mediante tecniche spettroscopiche di analisi delle superfici di due campioni prelevati dalle statue di Riace*; in *I Bronzi di Riace, Restauro come Conoscenza*; Artemide Edizioni, 2003
- MELUCCO VACCARO, SOMMELLA 1989: Melucco Vaccaro A., Sommella A.M.; *Marco Aurelio: Storia di un monumento e del suo restauro*; Silvana Editoriale; Milano 1989
- MONTANA, POLITO, RANDAZZO 2010: Montana G., Polito A.M., Randazzo L., *Studio etnoarcheometrico di malte aeree a legante gessoso nell'area delle Madonie (Sicilia settentrionale)*, VI Congresso Nazionale di Archeometria Scienza e Beni Culturali, Pavia, 2010, pp. 54-61
- MORETTI 1811: Moretti G.; *Traduzione con annotazioni del Dizionario di Chimica dei signori M.H. Klaproth e F. Wolff*; Milano, 1811
- MUSSO 2004: Musso S.F.; *Recupero e restauro degli edifici storici. Guida pratica al rilievo e alla diagnostica*; EPC Editore, 2004
- PASSALACQUA 1998: Passalacqua P.; *Cronaca della prima fase del cantiere di recupero dei frammenti delle volte della Basilica Superiore di S. Francesco di Assisi*; *Periodico Kermes*, n°32, anno 1998
- PECCHIONI, FRATINI, CANTISANI 2013: Pecchioni E., Fratini F., Cantisani E.; *Atlante delle malte antiche in sezione sottile al microscopio ottico; Kermesquaderni*, Nardini Editore; 2013
- PECCHIONI, FRATINI, CANTISANI 2008: Pecchioni E., Fratini F., Cantisani E.; *Le malte antiche e moderne tra tradizione e innovazione*; Patron Editore; Bologna, 2008

- PICCOLO, PUPPIN 2008: Piccolo O., Puppini E.; *Tecniche diagnostiche per i beni culturali*; Maggioli Editore, 2008
- PINZARI 2008: Pinzari F.; Scienza & Beni Culturali. *Microscopia elettronica a scansione e microanalisi*; Gangemi Editore, Roma, 2008
- PLESTERS 1957: Plesters J.; *Cross-Sections and Chemical Analysis of Paint Samples*, in *Studies in Conservation* n° 11, 1956; pp.110-157
- ROCHE 2012: Roche G.; *La termografia per l'edilizia e l'industria. Manuale operativo per le verifiche termografiche*; Maggioli Editore, 2012
- ROMAGNOLI 2009: Romagnoli M.; *Dendrocronologia per i Beni Culturali e l'Ambiente*; Nardini Editore, 2009
- SAMPAOLESI 1938: Sampaolesi P.; *Due esami radiografici di dipinti*, in *Bollettino d'Arte*, Ministero Educazione Naz., n. XI, 1938, pp. 495-505.
- SAMPAOLESI 1959: Sampaolesi P.; *Le misteriose malattie delle pietre*, in *Le Vie d'Italia*, a. LXV , n. 12, 1959; pp. 1581-1588
- SANTAMARIA 2014: Santamaria U.; *Stato di salute degli affreschi: la situazione ambientale*; in Atti del Convegno "La Cappella Sistina venti anni dopo: nuovo respiro, nuova luce", Auditorium Conciliazione, Roma, 30-31 Ottobre 2014
- SPINOSA 2011: Spinosa A.; *Piero Sampaolesi. Contributi alla cultura del restauro del Novecento*; Alinea Editore, 2011
- TOMASELLI 2013: Tomaselli F.; *Restauro anno zero. Il varo della prima Carta italiana del restauro del 1882 a seguito delle proteste internazionali contro la falsificazione della Basilica di San Marco a Venezia*, Aracne editrice, Roma, 2013
- TORRACA 2009; Torraca G.; *Lectures on Materials Science for Architectural Conservation*; The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 2009
- TORRACA 2002; Torraca G.; *Lezioni di scienza e tecnologia dei materiali per il restauro dei monumenti*, Scuola di Specializzazione per il Restauro dei Monumenti, Università La Sapienza, Roma, 2002
- TORRACA, SETTE 2001: Torraca G., Sette M.P.; *La cura dei materiali nel restauro dei monumenti*; Bonsignori, Roma, 2001
- TORRACA 1981; Torraca G.; *Porous building materials. Materials science for architectural conservation*, ICCROM, Roma 1981
- TORRACA 1975; Torraca G.; *Solubility and solvents for conservation purposes*, ICCROM, Roma, 1975
- WOLTERS 1938: Wolters C.; *Die Bedeutung der Gemäldedurchleuchtung mit Röntgenstrahlen für die Kunstgeschichte*; Prestel, Francoforte, 1938

CAPITOLO 2 – LA DIAGNOSTICA E L’EMERGENZA SISMICA: DEFINIZIONE DI BUONE PRATICHE.

2.0 Introduzione

Si sono sin qui forniti una panoramica e un sintetico stato dell’arte relativi alle diverse tecnologie diagnostiche disponibili e alle finalità del loro utilizzo. L’indagine diagnostica è ormai a pieno titolo parte di ogni processo conservativo dei beni architettonici. La diagnostica ha un ruolo importante anche negli studi non strettamente connessi ad un intervento di restauro. Si tratta di indagini puramente conoscitive o la cui finalità è il semplice monitoraggio delle condizioni conservative per la programmazione delle opere di manutenzione. Eppure, in situazioni di emergenza sismica gli interventi diagnostici sono spesso episodici, ad esclusione dei controlli prettamente strutturali. Le poche campagne diagnostiche condotte in emergenza sono relazionate all’importanza del monumento colpito o alla volontà dei soli enti di ricerca e tutela (Università, CNR, ICR, Soprintendenze) di approfondire la conoscenza degli edifici colpiti dal sisma. Nella normativa attuale non sono presenti riferimenti chiari al ruolo che la diagnostica potrebbe assumere in fase emergenziale. Nel presente capitolo si cerca di dare risposte a questo *vulnus* procedurale e culturale, definendo buone pratiche operative nel contesto emergenziale e fornendo esempi sperimentali di applicazione.

Si vogliono qui proporre buone pratiche operative, utili in emergenza sismica, per l’applicazione delle tecniche diagnostiche allo studio e al controllo delle condizioni degli edifici storici danneggiati.

L’iter metodologico proposto dovrebbe seguire le fasi della gestione dell’emergenza; occorre pertanto in questa sede ricostruire l’attuale organizzazione in merito alla gestione dell’emergenza e ripercorrere le singole fasi dell’intervento sui beni culturali.

La struttura operativa per il coordinamento delle attività emergenziali è stata articolata, successivamente al terremoto del 2016, in una Unità di Coordinamento Nazionale (UCCN-MiBACT)⁷⁹, istituita presso il Segretariato generale del Ministero, e in Unità di Coordinamento Regionale (UCCR-MiBACT)⁸⁰, istituite presso le Direzioni Regionali per i beni culturali e

⁷⁹ L’UCCN è composta da uno staff di direttori degli istituti MiBACT (IsCR, ICRCPAL, OPD, ICCD) il Comando Carabinieri Tutela Patrimonio Culturale, i funzionari del segretariato nazionale, il Segretario Nazionale. L’UCCN svolge in particolare le seguenti attività:

- Coordinamento con le altre istituzioni nazionali, esterne al Ministero.
- Coordinamento tra strutture centrali e periferiche del Ministero.
- Controllo dell’applicazione delle procedure operative da parte delle squadre di intervento sui territori colpiti.
- Monitoraggio degli interventi di messa in sicurezza e restauro.
- Individuazione di strumenti schedografici e informatici a supporto della gestione delle attività.

⁸⁰ Le UCCR sono composte da personale appartenente alle Direzioni Regionali e svolgono le seguenti attività:

paesaggistici. A seguito di un evento calamitoso che mette a rischio il patrimonio culturale l'UCCN attiva le UCCR delle regioni coinvolte. Le UCCR sono a loro volta articolate in tre unità operative:

- Unità di rilievo dei danni.
- Unità di coordinamento tecnico degli interventi di messa in sicurezza di strutture e opere mobili.
- Unità di gestione dei depositi temporanei e dei laboratori di pronto intervento ivi allestiti⁸¹.

L'attività di ricognizione dei danni avviene in due fasi:

- Ricognizione speditiva mediante l'utilizzo dello strumento "Scheda per il rilievo speditivo del danno"
- Rilevazione dettagliata del danno con gli strumenti schedografici A-DC (danno chiese), B-DP (danno palazzi) e C-BM (beni mobili)⁸².

L'insieme dei dati raccolti durante la ricognizione dei danni ha consentito all'UCCR di definire le attività di pronto intervento, da svolgersi in contemporanea con l'ultimazione della fase di rilievo dei danni e di procedere con la progettazione degli interventi per la messa in sicurezza e il contestuale allestimento dei depositi temporanei. Solo a interventi ultimati e all'avvenuto ricovero in deposito di ogni bene mobile recuperato la fase di emergenza può considerarsi chiusa. Quindi, ripercorrendo l'iter procedurale, si possono riassumere le fasi di gestione dell'emergenza sismica in tre distinte categorie in ordine operativo e cronologico:

Fase 1: Rilievo dei danni.

Fase 2: Attività di pronto intervento, recupero dei beni mobili, allestimento dei depositi temporanei, progettazione degli interventi di messa in sicurezza.

Fase 3: Rimozione macerie e realizzazione degli interventi di messa in sicurezza.

-
- Coordinamento delle attività del personale ministeriale sul territorio.
 - Coordinamento con le strutture territoriali che si attivano in emergenza (prefettura, Protezione Civile, VVF, forze dell'ordine).
 - Gestione delle squadre di rilievo dei danni.
 - Individuazione dei luoghi destinati a deposito del patrimonio culturale mobile e delle macerie di interesse culturale.
 - Vigilanza e supporto delle fasi di rilievo dei danni, messa in sicurezza e ricostruzione.

⁸¹ È stata istituita di recente la Direzione Generale Sicurezza del Patrimonio Culturale con il compito di programmare le attività legate alla prevenzione e alla sicurezza del patrimonio culturale nelle emergenze; tale unità assume le competenze della UCCN.

⁸² La struttura e i contenuti dei modelli schedografici A-DC e B-DP sono dettagliatamente illustrate rispettivamente nei paragrafi 2.1.1.1 e 2.1.1.2.

L'iter procedurale qui proposto si inserisce all'interno di questo processo e viene calibrato in base alle esigenze del contesto specifico (rilievo danni, messa in sicurezza, rimozione macerie, deposito macerie di interesse culturale), proponendo approcci diagnostici utili già in emergenza, che hanno poi ripercussioni sugli sviluppi delle fasi post-emergenziali di restauro e ricostruzione.

In particolare, in relazione alle operazioni di rilievo dei danni prima e di messa in sicurezza poi, vengono definite le principali tecniche diagnostiche utili al controllo della qualità costruttiva e all'individuazione di presidi antisismici attivi e indicatori di vulnerabilità delle strutture, con riferimento ai principali meccanismi di collasso.

Per il patrimonio edilizio storico diffuso non sottoposto a tutela, quindi non direttamente gestito in fase emergenziale dalle UCCR, si propone un nuovo strumento schedografico, da allegarsi alla scheda di primo livello per il rilievo dei danni sugli edifici ordinari (AeDES), denominato Allegato Materico-Diagnostico, volto alla registrazione delle caratteristiche materiche e costruttive della tradizione edilizia locale, alla valutazione delle condizioni globali di conservazione del tessuto edilizio storico e alla individuazione delle più opportune strategie di approfondimento diagnostico.

In relazione a gestione, selezione e trasporto in deposito delle macerie, con riferimento alla normativa vigente, si propongono strategie di approfondimento conoscitivo dei materiali in opera, quale utile contributo scientifico alle fasi di restauro e ricostruzione post-sisma.

Ogni tecnica diagnostica citata nei successivi paragrafi è già stata illustrata nel precedente capitolo, pertanto a margine delle specifiche definizioni si trovano sempre i rimandi alla precedente trattazione.

2.1 Dal rilievo del danno al progetto diagnostico

In situazioni ordinarie, prima di procedere al progetto per il restauro, è ormai prassi consolidata programmare e realizzare una campagna di indagini diagnostico-conoscitive i cui esiti sono di fondamentale importanza l'analisi delle condizioni conservative e delle caratteristiche materiche e costruttive dell'edificio in esame⁸³. Nei restauri che seguono un evento sismico questo iter procedurale non è affatto scontato, anche sulle emergenze architettoniche, per le quali non sono state stabilite procedure a norma e standardizzate⁸⁴. È pure vero che in una situazione di emergenza non è semplice immaginare tali modalità di standardizzazione e sistematizzazione della fase diagnostica preliminare ai restauri. Peraltro, le scelte operative nel progetto diagnostico dipendono fortemente dal singolo caso di studio e dalle sue caratteristiche. Tuttavia, poter disporre di un protocollo d'indagini diagnostiche pre-definito garantirebbe l'acquisizione di un livello di conoscenza omogeneo e aiuterebbe a una migliore conservazione del patrimonio edilizio storico.

Per giungere a questo obiettivo occorre chiedersi cosa sia davvero essenziale indagare e come farlo in condizioni che garantiscano la sicurezza degli operatori, rapidità esecutiva delle prove e di elaborazione dei risultati. La diagnostica può fornire informazioni in relazione alla vulnerabilità degli edifici storici colpiti dal sisma per prevenire situazioni di ulteriore danneggiamento delle strutture sia a causa di scosse successive al primo evento critico sia per l'aggravamento nel tempo dei danni subiti dalla fabbrica. Peraltro, per quanto concerne il tessuto edilizio cosiddetto minore, esiste alla base quasi sempre un vuoto di conoscenze che lo studio diretto e l'indagine diagnostica possono in parte colmare. Tali conoscenze sono fondamentali per una progettazione della ricostruzione organica e consapevole delle caratteristiche storiche e costruttive degli edifici. Nelle procedure per il rilievo dei danni si è raggiunto un buon livello di speditività dei sopralluoghi, con la raccolta standardizzata ed esaustiva dei dati. A questo modello si ispira la proposta elaborata per pre-definire l'intervento diagnostico in emergenza sismica.

⁸³ Per una conoscenza esaustiva dell'iter metodologico diagnostico a servizio delle azioni di conservazione e restauro dei monumenti si rimanda a FIORANI 2009 e MUSSO 2004.

⁸⁴ Una raccolta esaustiva di tutti gli strumenti standard, di tipo schedografico, utilizzati in caso d'emergenza per il rilievo del danno e della vulnerabilità sismica dei Beni Monumentali è contenuta in *Direttiva del Ministro dei beni e delle attività culturali e del turismo Aggiornamento della direttiva del 12 dicembre 2013 "Procedure per la gestione delle attività di messa in sicurezza e salvaguardia del patrimonio culturale in caso di emergenze derivanti da calamità naturali"*

2.1.1 Il rilievo del danno

A seguito di un evento sismico, non appena si conclude la prima fase emergenziale di soccorso alla popolazione coinvolta, le prime operazioni di gestione dell'emergenza sul patrimonio architettonico consistono nei sopralluoghi per la valutazione e il rilievo dei danni. Dai sopralluoghi si ottiene una documentazione che fotografa la situazione immediata nel post-sisma, estesa a tutto il patrimonio edilizio storico dei territori colpiti. La fase del rilievo dei danni quindi, per quanto concerne l'edilizia storica, oltre a rappresentare una modalità il più possibile oggettiva per quantificare e valutare gli effetti del sisma costituisce una preziosa fonte di dati necessari alla pianificazione degli interventi di messa in sicurezza prima e di restauro poi dell'edificio.

I dati raccolti nelle attività di rilievo del danno sul nostro territorio nazionale vengono registrati su modelli schedografici che hanno il compito di orientare il sopralluogo e facilitare l'analisi speditiva degli edifici colpiti. Per le chiese e i palazzi storici si adottano rispettivamente le schede "Modello A-DC" e "Modello B-DP", elaborate a partire dal 1987 da gruppi di lavoro appositamente costituiti⁸⁵. Per il patrimonio edilizio storico diffuso si utilizza la scheda per il rilievo del danno per edifici ordinari, denominata AeDES (Agibilità e Danno nell'Emergenza Sismica)⁸⁶.

Le squadre per il sopralluogo sono costituite da almeno un tecnico strutturista con competenze sul patrimonio storico monumentale, un tecnico della Soprintendenza e un Vigile del Fuoco per la compilazione dei Modelli A-DC, B-DP e C-BM. La scheda AeDES può essere compilata da squadre composte da professionisti iscritti agli ordini e collegi professionali nazionali degli architetti, degli ingegneri, dei geometri e dei periti edili.

⁸⁵ Nel 1987 il Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT), che lavora in collaborazione con il Servizio Nazionale della Protezione Civile, formulò una prima scheda di rilievo del danno sismico nelle chiese denominata Modello S3, nel quale furono sintetizzati diversi meccanismi di danneggiamento e collasso delle strutture, osservati e studiati nei sismi precedenti (Irpina 1980 e soprattutto Parma 1986). Nel 1987 fu effettuata una prima sperimentazione del modello di rilievo in occasione di un sisma che colpì l'Emilia-Romagna. La metodologia di analisi e documentazione dei danni fu riconfermata anche in occasione del sisma umbro del 1997 e del Pollino nel 1998. Dopo questa prima fase sperimentale fu promosso un nuovo gruppo di lavoro incaricato di produrre dei modelli schedografici ufficiali da impiegare su tutto il territorio nazionale in caso di danni al patrimonio culturale causati da sisma o eventi calamitosi. Nel 2001 furono quindi approvate le schede di rilevamento dei danni ai beni mobili e immobili appartenenti al patrimonio culturale nazionale. Le nuove schede furono utilizzate in occasione del sisma in Molise del 2002 e nel bresciano nel 2004. Dopo ulteriori aggiornamenti e integrazioni con Decreto del Presidente del Consiglio dei ministri del 23 Febbraio 2006 vennero approvate tre schede per il rilievo dei danni sul patrimonio culturale nazionale: la scheda 'Chiese' - Modello A-DC, la scheda 'Palazzi' - Modello B-DP e la scheda 'Beni Mobili' - Modello C-BM.

⁸⁶ Parallelamente alla definizione delle schede per il rilievo dei danni al patrimonio culturale furono sviluppate quelle per il rilievo dei danni sul patrimonio edilizio ordinario, anche storico. I prototipi furono sviluppati e testati nei sismi dal 1980 al 1997-98, quando assunsero la loro configurazione attuale.

La finalità perseguita da tutti i modelli di rilievo speditivo dei danni è la valutazione della gravità dei dissesti per l'attribuzione o meno dell'agibilità degli edifici, la definizione di provvedimenti di pronto intervento e la stima economica dei danni.

2.1.1.1 Scheda per il rilievo del danno ai beni culturali, Chiese Modello A-DC

La scheda per il rilievo del danno Modello A-DC si articola su due sezioni principali, la prima dedicata alla descrizione dell'edificio, delle sue caratteristiche e delle caratteristiche del sito, la seconda dedicata alla registrazione di danni e alla valutazione della loro entità e la verifica dell'agibilità. L'individuazione dei danni prodotti dal sisma viene effettuata in riferimento ai 28 meccanismi di collasso elencati. I compilatori segnalano non solo quelli effettivamente attivatisi ma anche quelli potenzialmente attivabili da un'ulteriore scossa sismica, in funzione dell'elemento a cui è associato il meccanismo. Per ogni meccanismo individuato si esprime anche un giudizio sull'entità del danno prodotto in una scala da 0 a 5, da danno nullo a crollo. I 28 meccanismi di collasso elencati nella scheda si suddividono in:

- 4 meccanismi relativi alla facciata.
- 5 meccanismi relativi all'aula.
- 3 meccanismi relativi al transetto.
- 1 meccanismo relativo all'arco trionfale.
- 2 meccanismi relativi alla cupola.
- 3 meccanismi relativi all'abside.
- 3 meccanismi relativi alla copertura.
- 4 meccanismi relativi alle cappelle e ai corpi annessi.
- 3 meccanismi relativi agli aggetti e al campanile.

Una quantificazione del danno medio subito dalla chiesa viene fornita calcolando l'indice di danno attraverso la relazione: $i_d = \frac{d}{5n}$

dove

n = numero di meccanismi individuati

$d = \sum_{k=1}^n dk$ con dk pari al livello di danno associato a ciascun meccanismo da 0 a 5.

Ripercorrendo tutti i campi compilati nel sopralluogo, con particolare attenzione alle sottosezioni A₁₀ (Ulteriori rischi), A₁₅ (manutenzione), A₁₆ (danno sismico), si formula il giudizio di agibilità mediante cinque diverse possibilità: Agibile, Inagibile, Parzialmente Agibile, Agibile con Provvedimenti, Temporaneamente Inagibile.

I differenti livelli di agibilità comportano le seguenti azioni:

A, Agibile: la chiesa può continuare ad essere normalmente fruita.

I, Inagibile: la chiesa viene chiusa al pubblico e vi rimane sino alla realizzazione delle messe in sicurezza prima e degli interventi di restauro poi.

PA, Parzialmente Agibile: la chiesa rimane fruibile solo in parte, in attesa della messa in sicurezza e restauro delle parti dichiarate non agibili.

AP, Agibile con Provvedimenti: la chiesa è inagibile sino alla realizzazione dei provvedimenti di pronto intervento e messa in sicurezza.

TI, Temporaneamente Inagibile: la chiesa viene dichiarata inagibile in attesa di ulteriori e necessari approfondimenti a seguito dei quali possa essere rivalutata l'agibilità.

È prevista anche l'opzione che consente di dichiarare la chiesa inagibile per cause esterne, quando la chiesa, seppure poco danneggiata, non può essere fruita in sicurezza, a causa, per esempio, di pericolo di crolli negli edifici limitrofi o di gravi rischi legati al sito, come il rischio idrogeologico. La squadra responsabile del sopralluogo può dare una prima indicazione sugli eventuali provvedimenti di pronto intervento necessari. Una volta definiti i provvedimenti da realizzare si procede con una stima economica degli stessi. Esiste un modello di stima automatico dei costi che individua una o più tipologie di ripristino o intervento di miglioramento sismico per ognuno dei 28 meccanismi di danno, graduate in base al livello di danneggiamento e all'intensità macrosismica rilevata nel sito. Di seguito si allega la scheda per il rilievo del danno ai beni culturali Modello A-DC.



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	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	N° progressivo	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	N° Scheda	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
------	---	----------------	--	-----------	---

(a cura dell'ufficio)

A₂ – RIFERIMENTO VERTICALE

Bene complesso	<input type="radio"/>	Bene individuo	<input type="radio"/>
Denominazione bene complesso: <input type="text"/>			
Numero schede beni componenti <input type="text"/>		Codice livello superiore <input type="text"/>	
Tipologia	<input 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 type="radio"/> regolare <input type="radio"/> con cortili <input type="radio"/> ad ali aperte <input type="radio"/> lineare <input type="radio"/> altro <input type="text"/>		

A₃ – LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICO AMMINISTRATIVA

Regione	<input type="text"/>	Codice Istat comune	<input type="text"/>	Indirizzo	<input type="text"/>
Provincia	<input type="text"/>			1 <input type="radio"/> via	<input type="text"/>
Comune	<input type="text"/>			2 <input type="radio"/> corso	<input type="text"/>
Località	<input type="text"/>			3 <input type="radio"/> vicolo	<input type="text"/>
				4 <input type="radio"/> piazza	<input type="text"/>
				5 <input type="radio"/> località	num. civico <input type="text"/>
Sezione censuaria	<input type="text"/>	N° complesso o aggregato	<input type="text"/>	N° edificio	<input type="text"/>
Foglio	<input type="text"/>	Data	<input type="text"/>	Particelle	<input type="text"/>
				Sub.	<input type="text"/>

A₄ – COORDINATE UTM

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

A₅ – OGGETTO

Denominazione bene:	<input type="text"/>						
Denominazione storica:	<input type="text"/>						
Datazione: anno	<input type="text"/>	secolo	<input type="text"/>	epoca	<input type="text"/>	Ultima trasformazione	<input type="text"/>
Proprietà:	<input type="text"/>		<input type="text"/>				
Utilizzatore:	<input type="text"/>		<input type="text"/>				

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 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

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 lati Altro

A₉ – INFRASTRUTTURE

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

A₁₀ – PRESENZA DI RISCHIO

		RILEVAZIONE DIRETTA	INFORMAZIONI ACQUISITE
Insedimento minacciato da frana <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Insedimento in zona alluvionabile <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Insedimento soggetto a minacce di tipo industriale <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Insedimento soggetto ad altre minacce naturali <input type="checkbox"/>	<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"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Dipinti mobili su vario supporto	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Mosaici <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Arredi (soffitti, amboni, pulpito, stali corali)	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Stucchi <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Decorazioni plastiche mobili	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Arazzi <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Manufatti in carta e pergamena	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Altari / statue <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Reperti archeologici	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Libri / Stampe <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Altri	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

A₁₂ – DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA - Realizzata da SI NO

A₁₃ – COMPILATORE SCHEDA

Cognome Nome

Ente/ufficio di appartenenza

E-Mail:

A₁₄ - RIFERIMENTO SCHEDA DELLA VULNERABILITA' DELLE CHIESE

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

A₁₅ - STATO DI MANUTENZIONE GENERALE

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

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 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 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 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 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

$n = \underline{\quad}\underline{\quad}$ (numero dei meccanismi possibili) $d = \underline{\quad}\underline{\quad}$ (punteggio totale di danno) $i_d = d / 5n = \underline{\quad}\underline{\quad}$

A22 - DESCRIZIONE E STIMA SOMMARIA DELLE OPERE NECESSARIE

A22.1 - Descrizione opere di ripristino strutturale (nuovi danni e danni pregressi aggravati)
.....
.....
.....
STIMA DEL COSTO PER IL RIPRISTINO STRUTTURALE
€ _ _ _ _ _ ,00
A22.2 - Descrizione opere di finitura, impiantistica e miglioramento sismico collegate
.....
.....
.....
STIMA DEL COSTO OPERE FINITURA IMPIANTISTICA E MIGLIORAMENTO SISMICO
€ _ _ _ _ _ ,00
A22.3 - Descrizione opere di pronto intervento (eventualmente indicare anche il costo del P.I. "a finire")
.....
.....
.....
STIMA DEL COSTO OPERE DI PRONTO INTERVENTO
€ _ _ _ _ _ ,00

A23 - NOTE

Indicare, eventualmente, altri danni non rilevabili dalla scheda (es. solai di calpestio, pavimentazioni ecc.)
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

A24 - DATI DIMENSIONALI (stimati rilevati)

Aula (compresi navate, cappelle, transetti)	Larghezza mt. _ _ _	Lunghezza mt. _ _ _	Superficie mq. _ _ _ _	Altezza media mt. _ _ _
Abside	Larghezza mt. _ _ _	Lunghezza mt. _ _ _	Superficie mq. _ _ _ _	Altezza media mt. _ _ _
Facciata principale	Larghezza mt. _ _ _	Altezza mt. _ _ _	Superficie mq. _ _ _ _	
Campanile	Larghezza mt. _ _ _	Lunghezza mt. _ _ _		Altezza mt. _ _ _
Coperture chiesa	Larghezza mt. _ _ _	Lunghezza mt. _ _ _	Superficie mq. _ _ _ _	Altezza massima mt. _ _ _

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

A₂₆ - DOCUMENTAZIONE ALLEGATA

SI NO

.....

.....

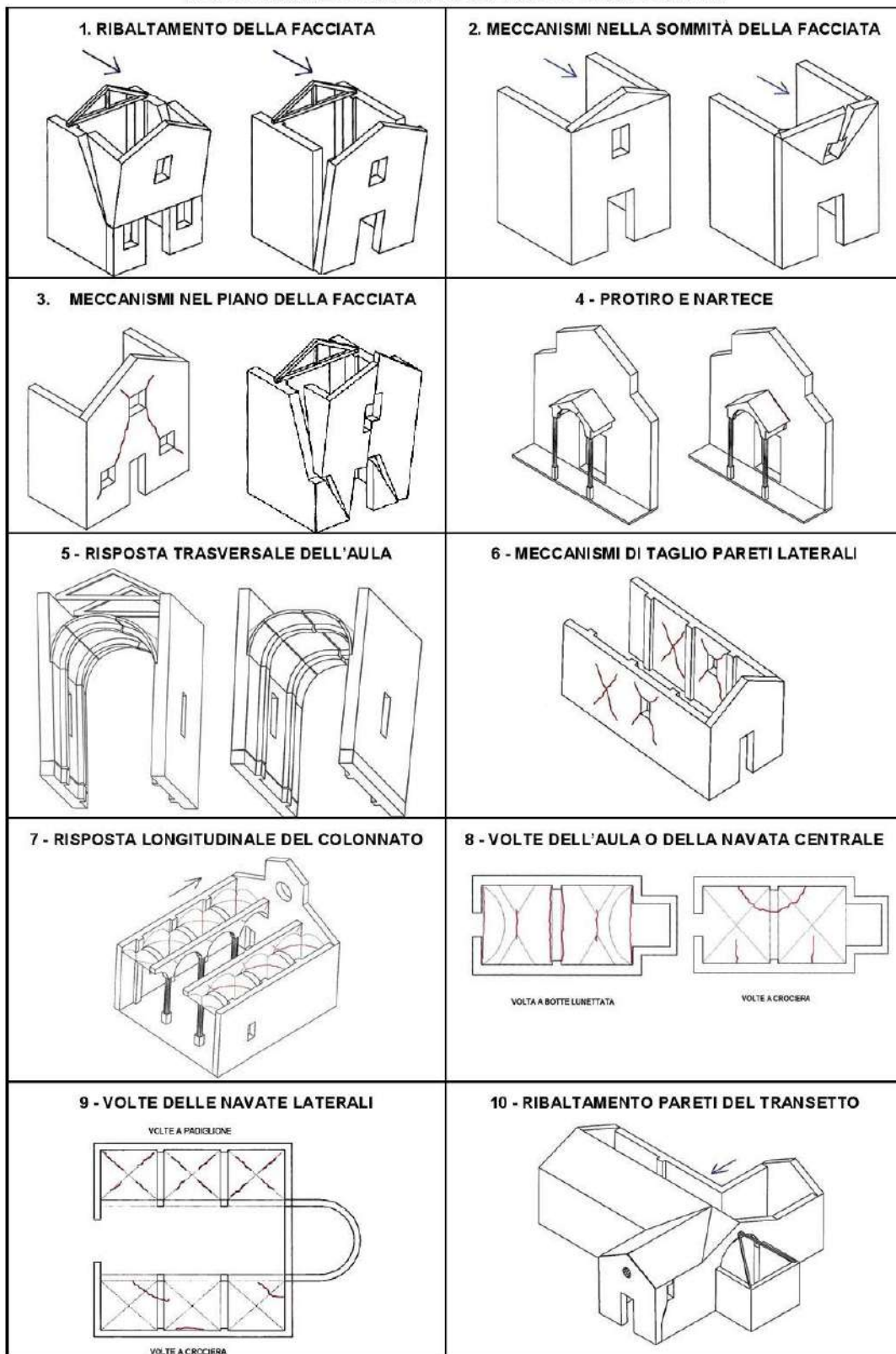
.....

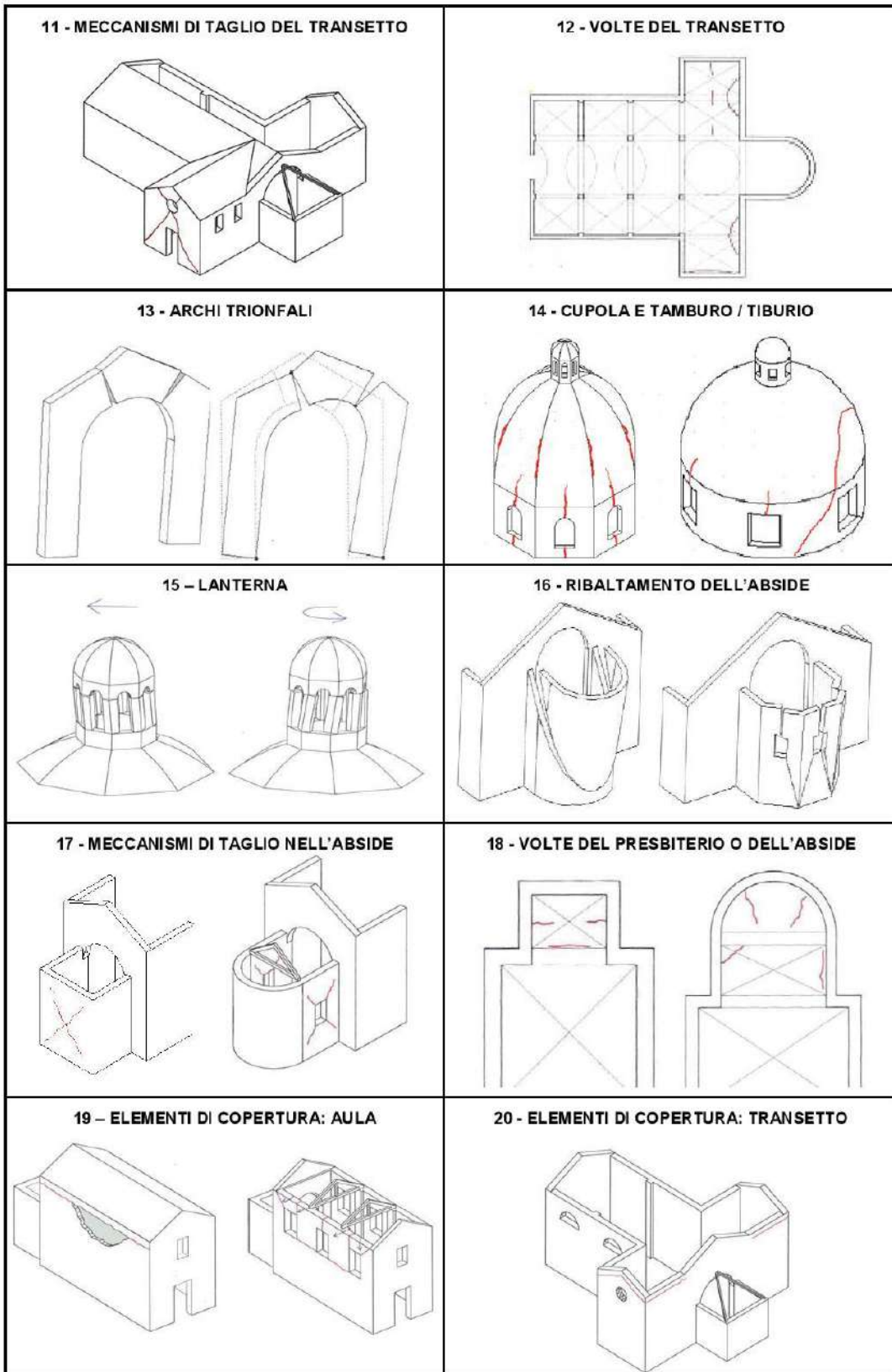
A₂₇ - SQUADRA CHE HA ESEGUITO IL RILIEVO

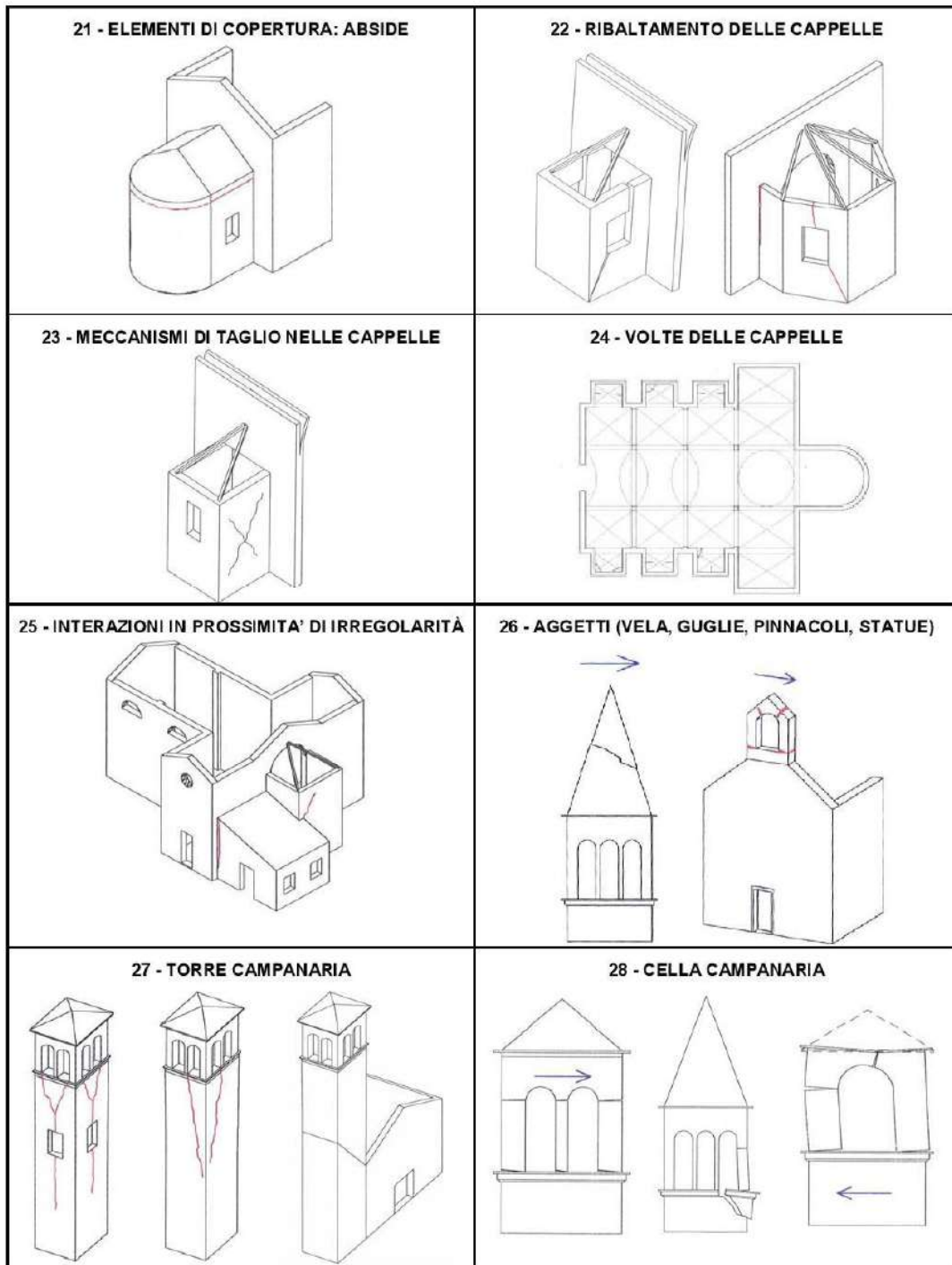
SISMA		C.O.M.		SQUADRA N.
<i>Componenti della squadra</i>				
Cognome e nome	Qualifica	Ente appartenenza	Firma	

Modello A-DC PCM-DPC MiBAC 2006

ABACO DEI MECCANISMI DI COLLASSO DELLE CHIESE







Modello A-DC PCM-DPC MiBAC 2006

2.1.1.2 Scheda per il rilievo del danno ai beni culturali, Palazzi Modello B-DP

La scheda per il rilievo del danno nei palazzi si articola, analogamente alla scheda di rilievo del danno nelle chiese, in due sezioni, la prima dedicata alla descrizione dell'edificio, delle sue caratteristiche e della natura del sito, la seconda dedicata alla registrazione di danni e alla valutazione della loro entità e la verifica dell'agibilità.

Se la metodologia del sopralluogo è simile a quella già illustrata, alcune sostanziali differenze riguardano l'analisi dei meccanismi di danno. Ovviamente, i meccanismi di collasso sono differenti da quelli riscontrati nelle chiese, in quanto sono diversi gli elementi architettonici a cui si associano i danni. Anche la descrizione dell'edificio è più complessa e articolata, in quanto un palazzo è mediamente più soggetto a trasformazioni nel tempo, trasformazioni che vanno individuate per interpretare correttamente il funzionamento strutturale e la risposta dell'edificio alla sollecitazione sismica. Analogamente a quanto sviluppato per l'interpretazione del danno nelle chiese, sono stati classificati, in funzione degli elementi strutturali tipici dei palazzi, 22 meccanismi di collasso, suddivisi in:

- 6 meccanismi relativi alle pareti perimetrali.
- 1 meccanismo relativo alle pareti interne.
- 1 meccanismo relativo globalmente all'intero edificio.
- 1 meccanismo relativo a porticati e logge.
- 4 meccanismi relativi agli orizzontamenti.
- 1 meccanismo relativo alle scale.
- 3 meccanismi relativi alle coperture.
- 1 meccanismo relativo agli elementi aggettanti o svettanti.
- 1 meccanismo relativo a collassi locali.
- 3 meccanismi relativi alle interazioni tra le parti, comprese le fondazioni.

Si individuano, come accade per le chiese, tutti i meccanismi attivati o potenzialmente attivabili. Per ogni meccanismo si assegna un livello di attivazione rispetto al collasso da 0 (potenzialmente attivabile) a 5 (che ha determinato un crollo). In base alla localizzazione e al livello di attivazione del meccanismo si esprime un giudizio di rischio (basso, basso con provvedimenti o alto), determinante

nella valutazione dell'agibilità. Si associano a ogni meccanismo individuato anche i suggerimenti di provvedimenti di pronto intervento. Si esprime quindi il calcolo dell'indice di danno, del tutto analogo a quello definito nella scheda relativa alle chiese. Analogamente si forniscono il tipo di agibilità, i provvedimenti di pronto intervento e la descrizione e stima dei costi. Di seguito si allega la scheda per il rilievo del danno ai beni culturali Modello B-DP.



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 - PALAZZI

MODELLO B - DP
Prima sezione

B₁

Data	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	N° progressivo	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	N° Scheda	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
------	---	----------------	--	-----------	---

(a cura dell'ufficio)

B₂ - RIFERIMENTO VERTICALE

Bene complesso	<input type="radio"/>	Bene individuo	<input type="radio"/>
Denominazione: <input type="text"/>			
Numero schede beni componenti		<input type="text"/>	Codice livello superiore
Tipologia	<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 <input type="text"/>		
Pianta	<input type="radio"/> regolare <input type="radio"/> con cortili <input type="radio"/> ad ali aperte <input type="radio"/> lineare <input type="radio"/> altro <input type="text"/>		

B₃ - LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICO AMMINISTRATIVA

Regione	<input type="text"/>	Codice Istat comune	<input type="text"/>	Indirizzo	<input type="text"/>
Provincia	<input type="text"/>			1 <input type="radio"/> via	<input type="text"/>
Comune	<input type="text"/>			2 <input type="radio"/> corso	<input type="text"/>
Località	<input type="text"/>			3 <input type="radio"/> vicolo	<input type="text"/>
				4 <input type="radio"/> piazza	<input type="text"/>
				5 <input type="radio"/> località	num.civico <input type="text"/>
Sezione censuaria	<input type="text"/>	N° complesso o aggregato	<input type="text"/>	N° edificio	<input type="text"/>
Foglio	<input type="text"/>	Data	<input type="text"/>	Particelle	<input type="text"/>
				Sub.	<input type="text"/>

B₄ - COORDINATE UTM

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

B₅ - OGGETTO

Denominazione bene	<input type="text"/>				
Denominazione storica	<input type="text"/>				
Datazione	anno <input type="text"/>	secolo <input type="text"/>	epoca <input type="text"/>	Ultima trasformazione	<input type="text"/>
Proprietà	<input type="text"/>		<input type="text"/>		
Utilizzatore	<input type="text"/>		<input type="text"/>		

B₆ – DESTINAZIONE D'USO ATTUALE

Uso	N° unità d'uso	Utilizzazione spaziale [%]				Utilizzazione temporale			Esposizione	
		>65	30-65	< 30	0	Continuo	Saltuario	Non utilizzato	N° occupanti	Affollamento
Abitazione	<input type="checkbox"/> <input type="text" value="___"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="text" value="___"/>	<input type="checkbox"/>
Commerciale	<input type="checkbox"/> <input type="text" value="___"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="text" value="___"/>	<input type="checkbox"/>
Museo	<input type="checkbox"/> <input type="text" value="___"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="text" value="___"/>	<input type="checkbox"/>
Uffici	<input type="checkbox"/> <input type="text" value="___"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="text" value="___"/>	<input type="checkbox"/>
Servizi	<input type="checkbox"/> <input type="text" value="___"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="text" value="___"/>	<input type="checkbox"/>
Strategico	<input type="checkbox"/> <input type="text" value="___"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="text" value="___"/>	<input type="checkbox"/>
Altro	<input type="checkbox"/> <input type="text" value="___"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="text" value="___"/>	<input type="checkbox"/>

B₇ – CARATTERISTICHE DEL SITO

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

B₈ – CONTESTO URBANO E POSIZIONE

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

Isolato Connesso con altri edifici su lati Altro

B₉ – INFRASTRUTTURE

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

B₁₀ – 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"/>

B₁₁ – TIPOLOGIA DEI BENI ARTISTICI PRESENTI

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

B₁₂ – DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA – Realizzata da

SI NO

B₁₃ – COMPILATORE SCHEDA

Cognome Nome

Ente/ufficio di appartenenza

E-Mail:

B₁₄ - RIFERIMENTO SCHEDA DELLA VULNERABILITA' DEI PALAZZI

N° Scheda	Data	Ente
-----------	------	------

B₁₅ - STATO DI MANUTENZIONE GENERALE

	Buono	Discreto	Scadente	Pessimo	Lavori in corso
Strutture verticali	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
Strutture orizzontali	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
Copertura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>

B₁₆ - INTERVENTI

Ampliamento	Sopraelevazione	Manutenzione straordinaria	Consolidamento
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

B₁₇ - REGOLARITA', FORMA PLANIMETRICA E DATI DIMENSIONALI

	Regolare	Non regolare	FORMA IN PIANTE
Pianta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/> rettangolare <input type="radio"/> rett. allungata <input type="radio"/> a L
Elevazione	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/> a C <input type="radio"/> a corti <input type="radio"/> altro
Disposizione muri interni	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Presenza di <input type="checkbox"/> porticati <input type="checkbox"/> logge <input type="checkbox"/> cavedii <input type="checkbox"/> atrio
Disposizione aperture	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Discontinuità costruttive e del materiale <input type="checkbox"/>

DATI DIMENSIONALI	Stimati	rilevati
Larghezza media	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Lunghezza media	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Superficie media in pianta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Altezza media in gronda	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Piani fuori terra	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Piani interrati	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	

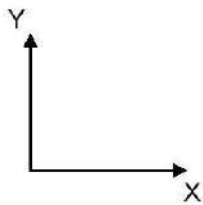
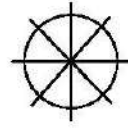
B₁₈ - EIDOTIPO E SUDDIVISIONE IN ELEMENTI

SUDDIVISIONE IN AREE	INDIVIDUAZIONE CORPI SCALA E CORPI ANNESSI	INDIVIDUAZIONE COPERTURE
Area	N° totale corpi scala:	Copertura
Sup. [m ²]	N° totale corpi annessi:	Sup. [m ²]
N° piani		

SCHEMATIZZAZIONE DELLA PLANIMETRIA E DELLA SEZIONE

*(E' possibile utilizzare anche fotocopie di planimetrie, sezioni e prospetti,
Indicando, comunque, la numerazione dei diversi elementi della costruzione)*

ORIENTAMENTO



B₁₉ – RILIEVO DEL DANNO AGLI ELEMENTI STRUTTURALI

TIPOLOGIA MURARIA	DESCRIZIONE
A	PIETRA SQUADRATA
B	PIETRA SBOZZATA
C	PIETRA A SPACCO
D	MATTONI
E	IRREGOLARE, CIOTTOLI, MISTA
F	ALTRO

PARETI PERIMETRALI																			
N° PARETE	TIPOLOGIA E PARAMETRI DIMENSIONALI								DANNO (LIVELLO ED ESTENSIONE)										
	LIBERA	PARZ. LIBERA	IN AGGREGATO	APERTURE			LUNGHEZZA [m]	SPESSORE [m]	TIPOLOGIA MURARIA (A + F di B ₁₉)	PRESENZA DI CORDOLI / CATENE	PARETI INTERNE ORTOGONALI	D1 LEGGERO		D2 - D3 MEDIO GRAVE		D4 - D5 GRAVISSIMO		NULLO	
				uniformi	discontinue	assenti						>2/3	1/3 - 2/3	<1/3	>2/3	1/3 - 2/3	<1/3		>2/3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

PORTICATI / LOGGE / ATRI																			
N° PARETE	TIPOLOGIA E PARAMETRI DIMENSIONALI						DANNO (LIVELLO ED ESTENSIONE)												
	PIANI	LUNGHEZZA [m]	TIPOLOGIA STRUTTURALE				PRESENZA DI CATENE	D1 LEGGERO			D2 - D3 MEDIO GRAVE		D4 - D5 GRAVISSIMO			NULLO			
			muratura	c.a.	legno	acciaio		>2/3	1/3 - 2/3	<1/3	>2/3	1/3 - 2/3	<1/3	>2/3	1/3 - 2/3		<1/3		
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

PARETI INTERNE																			
N° AREA	TIPOLOGIA E PARAMETRI DIMENSIONALI					DANNO (LIVELLO ED ESTENSIONE)													
	LUNGHEZZA [m]		SPESSORE [m]			TIPOLOGIA MURARIA (A + F di B ₁₉)	D1 LEGGERO			D2 - D3 MEDIO GRAVE			D4 - D5 GRAVISSIMO			NULLO			
	x	y	x	y			>2/3	1/3 - 2/3	<1/3	>2/3	1/3 - 2/3	<1/3	>2/3	1/3 - 2/3	<1/3				
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

CORPI SCALA																			
N°	N° AREA	TIPOLOGIA E PARAMETRI DIMENSIONALI						DANNO (LIVELLO ED ESTENSIONE)											
		PIANI	SUPERFICIE [m ²]	TIPOLOGIA STRUTTURALE				D1 LEGGERO			D2 - D3 MEDIO GRAVE		D4 - D5 GRAVISSIMO		NULLO				
				muratura	c.a.	legno	acciaio	>2/3	1/3 - 2/3	<1/3	>2/3	1/3 - 2/3	<1/3	>2/3		1/3 - 2/3	<1/3		
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

ORIZZONTAMENTI																			
N° AREA	TIPOLOGIA E PARAMETRI DIMENSIONALI						DANNO (LIVELLO ED ESTENSIONE)												
	SUPERFICIE [m ²]	H INTERPIANO [m]	TIPOLOGIA [%]				D1 LEGGERO			D2 - D3 MEDIO GRAVE		D4 - D5 GRAVISSIMO		NULLO					
			legno	volte	c.a.	acciaio	>2/3	1/3 - 2/3	<1/3	>2/3	1/3 - 2/3	<1/3	>2/3		1/3 - 2/3	<1/3			
										<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
										<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
										<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
										<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
										<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

COPERTURE																			
N°	TIPOLOGIA E PARAMETRI DIMENSIONALI						DANNO (LIVELLO ED ESTENSIONE)												
	SUPERFICIE [m ²]	TIPOLOGIA			SPINGENTE		DESCRIZIONE	D1 LEGGERO			D2 - D3 MEDIO GRAVE		D4 - D5 GRAVISSIMO		NULLO				
		c.a.	legno	acciaio	si	no		>2/3	1/3 - 2/3	<1/3	>2/3	1/3 - 2/3	<1/3	>2/3		1/3 - 2/3	<1/3		
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

BALCONI / ELEMENTI AGGETTANTI										
N° TOTALE	DANNO (LIVELLO ED ESTENSIONE)									
	D4 - D5 GRAVISSIMO			D2 - D3 MEDIO GRAVE			D1 LEGGERO			NULLO
	>2/3	1/3 - 2/3	<1/3	>2/3	1/3 - 2/3	<1/3	>2/3	1/3 - 2/3	<1/3	
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

ELEMENTI SVETTANTI										
N° TOTALE	DANNO (LIVELLO ED ESTENSIONE)									
	D1 LEGGERO			D2 - D3 MEDIO GRAVE			D4 - D5 GRAVISSIMO			NULLO
	>2/3	1/3 - 2/3	<1/3	>2/3	1/3 - 2/3	<1/3	>2/3	1/3 - 2/3	<1/3	
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

CORPI ANNESSI												
N°	TIPOLOGIA E PARAMETRI DIMENSIONALI		DANNO (LIVELLO ED ESTENSIONE)									
	SUPERFICIE [m ²]	PRESENZA DI CATENE	D1 LEGGERO			D2 - D3 MEDIO GRAVE			D4 - D5 GRAVISSIMO			NULLO
			>2/3	1/3 - 2/3	<1/3	>2/3	1/3 - 2/3	<1/3	>2/3	1/3 - 2/3	<1/3	
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

B₂₀ - RILIEVO DEL DANNO AGLI ELEMENTI NON STRUTTURALI

I	COMIGNOLI	II	CORNICIONI	III	STATUE O OGGETTI	IV	RIVESTIMENTI O CONTROSOFFITTI RECENTI
V	RETE IDRICA, FOGNARIA O TERMOIDRAULICA	VI	RETE ELETTRICA O DEL GAS	VII	ALTRO.....	VIII	ALTRO.....

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

A - danno sismico
 B - danno pregresso
 C - aggravamento

ELEMENTI DANNEGGIATI	Livello di danno	p	LOCALIZZAZIONE	PROVVEDIMENTI DI P.I. SUGGERITI			
				PUNTELLAMENTI	RIPARAZIONE	TRANSENNATURE	ALTRO
	□□□□□			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	□□□□□			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	□□□□□			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	□□□□□			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	□□□□□			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

NOTE.....

B₂₁ - PERICOLO ESTERNO

CAUSA POTENZIALE	PERICOLO SU		PROVVEDIMENTI DI P.I. SUGGERITI	
	EDIFICIO	VIA D'ACCESSO	DIVIETO DI ACCESSO	TRANSENNE E PROTEZIONE PASSAGGI
CROLLI O CADUTE DA ALTRE COSTRUZIONI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ROTTURA DI RETI DI SERVIZI/DISSESTI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

B₂₂ - DISSESTI DI VERSANTE O DEL TERRENO DI FONDAZIONE

	ASSENTI	PREESISTENTI	GENERATI DAL SISMA	ACUITI DAL SISMA
VERSANTI INCOMBENTI	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
TERRENO DI FONDAZIONE	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

B₂₃ - MECCANISMI DI COLLASSO STRUTTURALI

TIPOLOGIA	n	CODICE	MECCANISMO
PARETI PERIMETRALI	┌┐	M1	<input type="checkbox"/> RIBALTAMENTO DELLE PARETI
		M2	<input type="checkbox"/> INSTABILITÀ VERTICALE DELLE PARETI
		M3	<input type="checkbox"/> ROTTURA A FLESSIONE DELLE PARETI
		M4	<input type="checkbox"/> RIBALTAMENTO DEL CANTONALE
		M5	<input type="checkbox"/> TAGLIO NELLE PARETI ESTERNE: MASCHI
		M6	<input type="checkbox"/> TAGLIO NELLE PARETI ESTERNE: ARCHITRAVI E MURATURA SOPRSTANTE
PARETI INTERNE	2x┌┐	M7	<input type="checkbox"/> TAGLIO NELLE PARETI INTERNE
GLOBALE	<input checked="" type="checkbox"/>	M8	<input type="checkbox"/> SCORRIMENTO DI PIANO
PORTICATI / LOGGE	<input type="checkbox"/>	M9	<input type="checkbox"/> DANNO AI PORTICATI / LOGGE
ORIZZONTAMENTI	┌┐	M10	<input type="checkbox"/> SFILAMENTO TESTA DELLE TRAVI E/O MARTELLAMENTO
		M11	<input type="checkbox"/> COLLASSI LOCALI DELL'IMPALCATO O DELLA VOLTA
		M12	<input type="checkbox"/> DANNO ALLE VOLTE PER ROTAZIONE DELLE IMPOSTE
		M13	<input type="checkbox"/> DANNO ALLE VOLTE PER DEFORMAZIONE DI PIANO
SCALE	┌┐	M14	<input type="checkbox"/> DANNO ALLE SCALE
COPERTURE	┌┐	M15	<input type="checkbox"/> DANNO NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA
		M16	<input type="checkbox"/> DANNO AL MANTO DI COPERTURA
		M17	<input type="checkbox"/> RIBALTAMENTO DELLE FASCE SOTTOTETTO E TIMPANO
ELEMENTI AGGETTANTI / SVETTANTI	<input type="checkbox"/>	M18	<input type="checkbox"/> DANNO AGLI ELEMENTI AGGETTANTI / SVETTANTI
COLLASSI LOCALI	<input type="checkbox"/>	M19	<input type="checkbox"/> COLLASSI LOCALI PER IRREGOLARITÀ COSTRUTTIVE E DEL MATERIALE
		M20	<input type="checkbox"/> DANNO PER IRREGOLARITÀ DI FORMA
INTERAZIONI	┌┐	M21	<input type="checkbox"/> DANNO NEI CORPI ANNESSI
		<input checked="" type="checkbox"/> M22	<input type="checkbox"/> CEDIMENTO DI FONDAZIONI
ALTRO	<input type="checkbox"/>	M23	<input type="checkbox"/>
		M24	<input type="checkbox"/>

B_{23.1} - LIVELLO DI ATTIVAZIONE RISPETTO AL COLLASSO

0 - □□□□ assente 1 - ■□□□ lieve 2 - ■■□□ moderato
 3 - ■■■□ grave 4 - ■■■■ molto grave 5 - ■■■■■ crollo

IDENTIFICAZIONE DEL LIVELLO DI ATTIVAZIONE

A - danno sismico
 B - danno progressivo
 C - aggravamento

N° PROGRESSIVO	CODICE MECCANISMO	ARE A	PIANI	ELEMENTI INTERESSATI	SECONDAIO	LIVELLO DI ATTIVAZIONE RISPETTO AL COLLASSO	P	RISCHIO			PROVVEDIMENTI DI P.I. SUGGERITI								
								BASSO	BASSO CON PROVVEDIMENTI	ALTO	CERCHIATURE TIRANTI	PUNTELLI	TAMPONATURE	RIPARAZIONI	RIMOZIONI	TRANSENNATURE	PROTEZIONI	ALTRO	
					<input type="checkbox"/>	□□□□	└	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
					<input type="checkbox"/>	■□□□	└	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
					<input type="checkbox"/>	■■□□	└	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
					<input type="checkbox"/>	■■■□	└	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
					<input type="checkbox"/>	■■■■	└	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
					<input type="checkbox"/>	■■■■■	└	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
					<input type="checkbox"/>	□□□□	└	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
					<input type="checkbox"/>	■□□□	└	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
					<input type="checkbox"/>	■■□□	└	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
					<input type="checkbox"/>	■■■□	└	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
					<input type="checkbox"/>	■■■■	└	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
					<input type="checkbox"/>	■■■■■	└	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
					<input type="checkbox"/>	□□□□	└	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
					<input type="checkbox"/>	■□□□	└	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
					<input type="checkbox"/>	■■□□	└	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
					<input type="checkbox"/>	■■■□	└	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
					<input type="checkbox"/>	■■■■	└	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
					<input type="checkbox"/>	■■■■■	└	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
					<input type="checkbox"/>	□□□□	└	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
					<input type="checkbox"/>	■□□□	└	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
					<input type="checkbox"/>	■■□□	└	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
					<input type="checkbox"/>	■■■□	└	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
					<input type="checkbox"/>	■■■■	└	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
					<input type="checkbox"/>	■■■■■	└	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

B_{23.2} - INDICE DI DANNO

n = <input type="text"/>	d = <input type="text"/>	$i_d = d / 5n = \text{---}, \text{---}$
(numero dei meccanismi possibili)	(somma dei livelli di attivazione nei meccanismi primari)	

B₂₉ - DESCRIZIONE E STIMA SOMMARIA DELLE OPERE NECESSARIE

B_{29.1} - Descrizione opere di ripristino strutturale (nuovi danni e danni pregressi aggravati)

.....

.....

.....

STIMA DEL COSTO PER IL RIPRISTINO STRUTTURALE € ,00

B_{29.2} - Descrizione opere di finitura, impiantistica e miglioramento sismico

.....

.....

.....

STIMA DEL COSTO OPERE FINITURA, IMPIANTISTICA E MIGLIORAMENTO SISMICO € ,00

B_{29.3} - Descrizione opere di pronto intervento (eventualmente indicare anche il costo del P.I. "a finire")

.....

.....

.....

STIMA DEL COSTO OPERE DI PRONTO INTERVENTO € ,00

B₃₀ - NOTE

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

B₃₁ - DOCUMENTAZIONE ALLEGATA
 SI NO

DESCRIZIONE

.....

.....

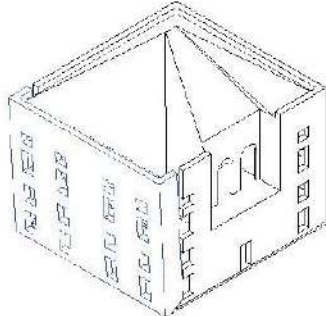
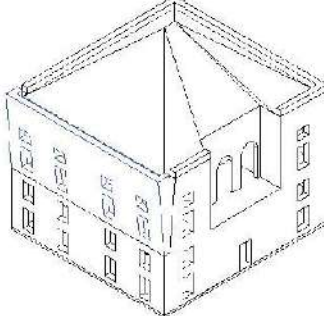
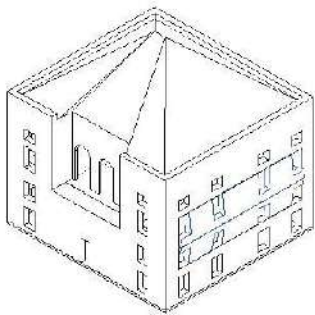
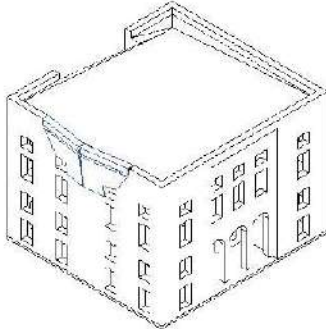
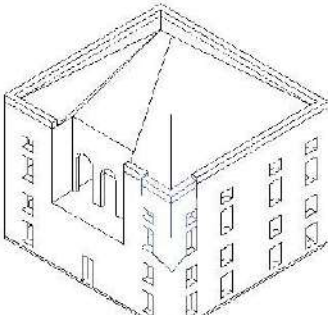
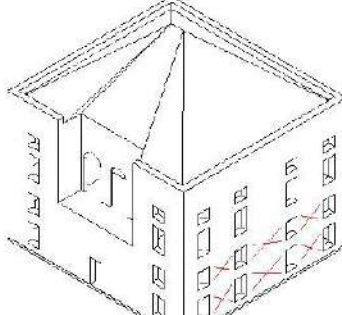
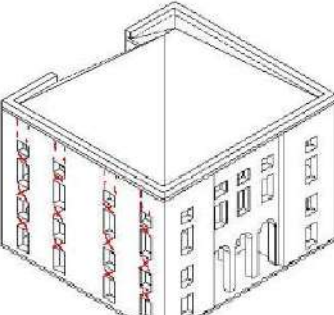
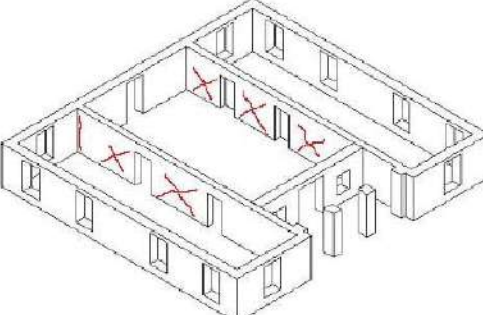
.....

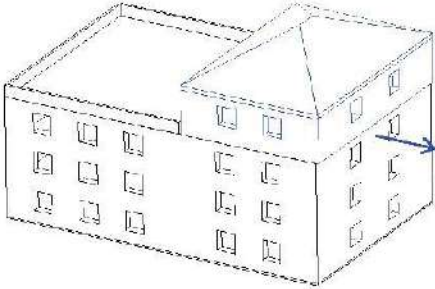
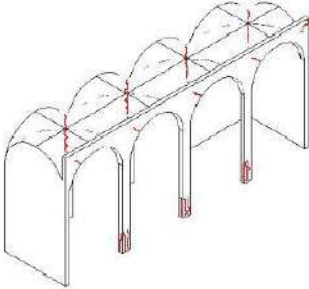
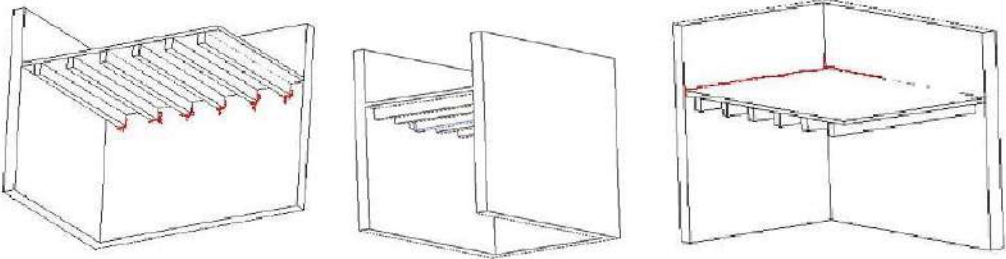
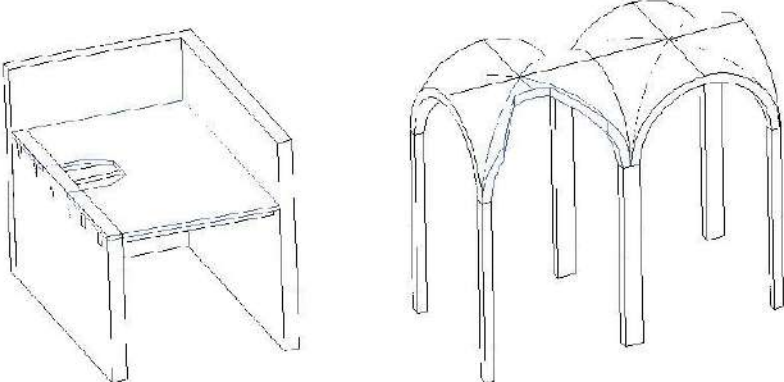
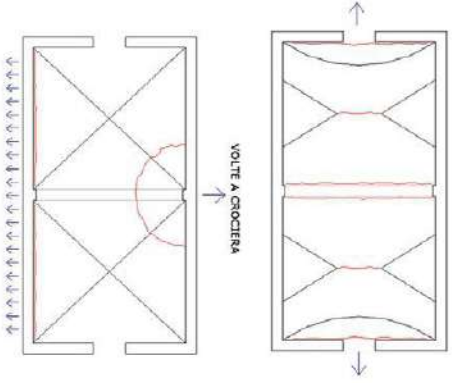
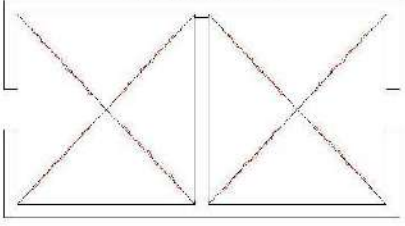
B₃₂ - SQUADRA CHE HA ESEGUITO IL RILIEVO

SISMA	C.O.M.		SQUADRA N.
<i>Componenti della squadra</i>			
Cognome e nome	Qualifica	Ente appartenenza	Firma

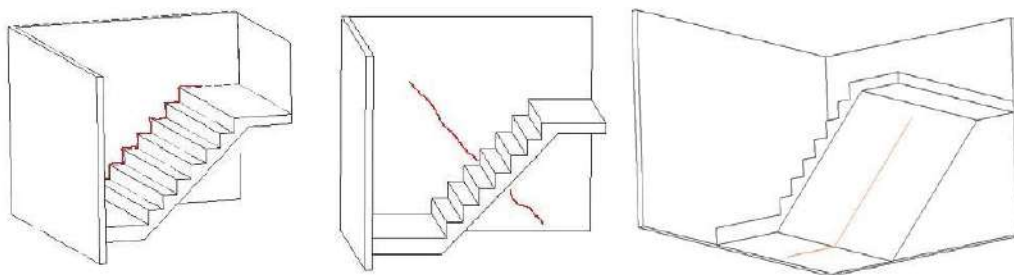
Modello B-DP PCM-DPC MIBAC 2006

ABACO DEI MECCANISMI DI COLLASSO DEI PALAZZI

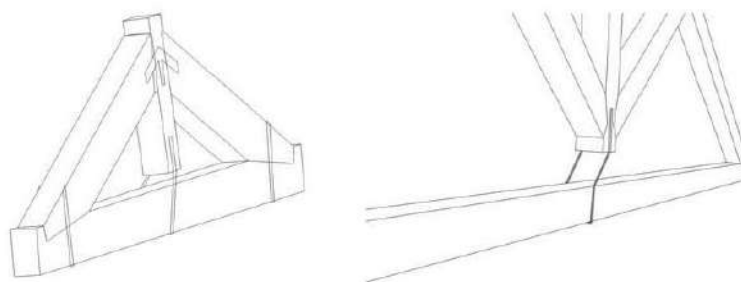
M1. RIBALTAMENTO DELLE PARETI	
	
M2. INSTABILITA' VERTICALE DELLE PARETI	M3. ROTTURA A FLESSIONE DELLE PARETI
	
M4. RIBALTAMENTO DEL CANTONALE	M5. TAGLIO NELLE PARETI ESTERNE: MASCHI
	
M6. TAGLIO NELLE PARETI ESTERNE: FASCE	M7. TAGLIO NELLE PARETI INTERNE
	

<p>M8. SCORRIMENTO DI PIANO</p> 	<p>M9. DANNO AI PORTICATI/ LOGGE</p> 
<p>M10. SFILAMENTO TESTA DELLE TRAVI E/O MARTELLAMENTO</p> 	
<p>M11. COLLASSI LOCALI DELL'IMPALCATO O DELLA VOLTA</p> 	
<p>M12. DANNO ALLE VOLTE PER ROTAZIONE DELLE IMPOSTE</p>	<p>M13. DANNO ALLE VOLTE PER DEFORMAZIONE DI PIANO</p>
 <p>VOLTE A CROCIERA</p> <p>VOLTE A SOTTI</p>	<p>VOLTE A PADIGLIONE</p> 

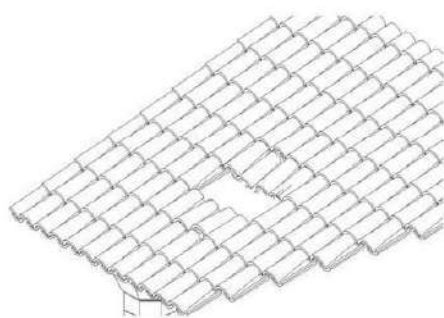
M14. DANNO ALLE SCALE



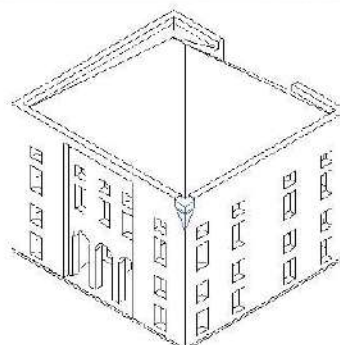
M15. DANNO NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA



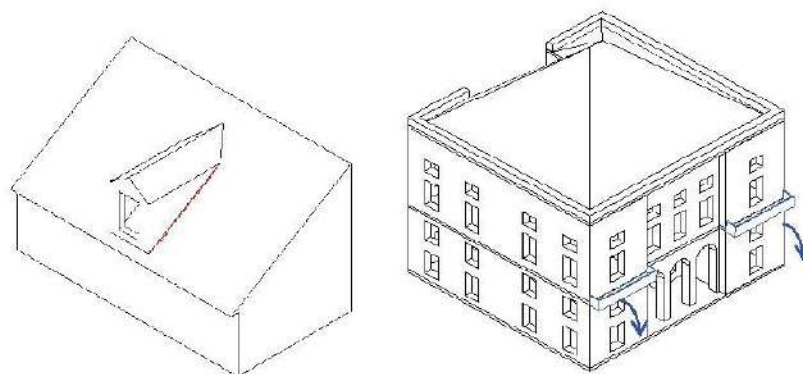
M16. DANNO AL MANTO DI COPERTURA



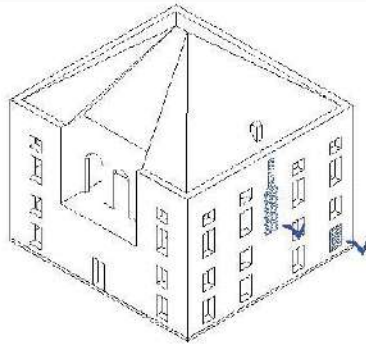
M17. RIBALTAMENTO DELLE FASCE SOTTOTETTO E DEL TIMPANO



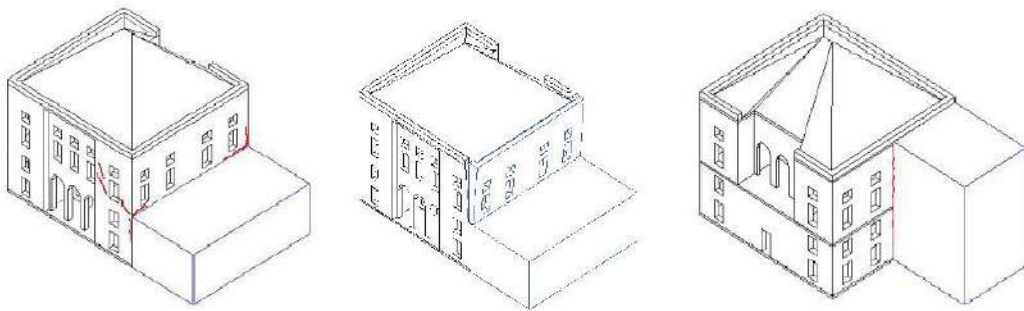
M18. DANNO AGLI ELEMENTI AGGETTANTI/SVETTANTI



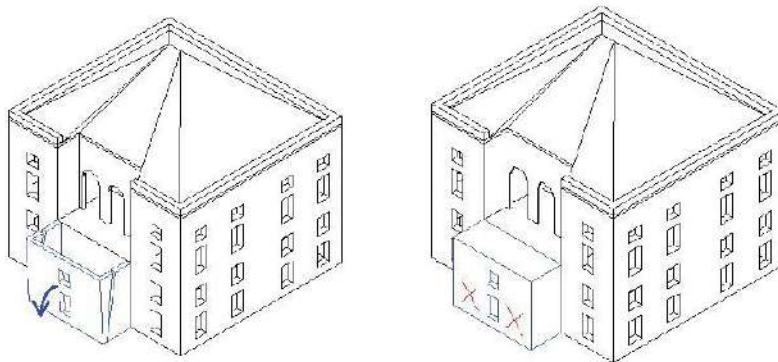
M19. COLLASSI LOCALI PER IRREGOLARITA' COSTRUTTIVE E DEL MATERIALE



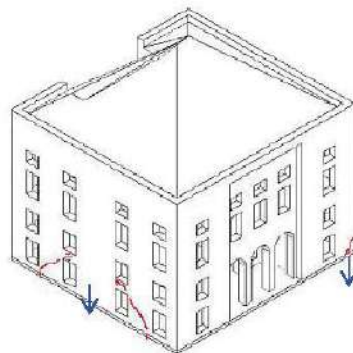
M20. DANNO PER IRREGOLARITA' DI FORMA



M21. DANNO NEI CORPI ANNESSI



M22. CEDIMENTO DI FONDAZIONI



Modello B-DP PCM-DPC MiBAC 2006

2.1.1.3 Scheda di primo livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica, AeDES

La scheda AeDES è organizzata in nove sezioni, le prime tre dedicate all'identificazione e alla descrizione dell'edificio, la quarta e la quinta al rilievo dei danni, la sesta e la settima alla valutazione di rischi esterni all'edificio, l'ottava al giudizio di agibilità e la nona alla prescrizione di provvedimenti di pronto intervento. Ogni scheda è identificata da un codice univoco assegnato dal Centro di Coordinamento.

Sezione 1, Identificazione edificio:

Nella sezione vengono forniti i dati di localizzazione dell'edificio, mediante la provincia, il comune e la frazione o la località di appartenenza, l'indirizzo, le coordinate UTM, specificando la posizione dell'edificio rispetto a quelli adiacenti. L'edificio viene altresì identificato mediante la trascrizione dei dati Istat e catastali. Si allega alla sezione la pianta dell'aggregato strutturale sulla quale viene identificato graficamente l'edificio.

Sezione 2, Descrizione edificio:

Nella sezione è identificato il numero complessivo di piani, con la relativa altezza media e superficie media per piano e il numero di piani interrati. Viene inoltre fornita l'età dell'edificio e l'uso, specificando il numero di unità in uso e fornendo pertanto una stima in percentuale dell'utilizzazione, con relativo numero di occupanti. Viene inoltre specificato se la proprietà sia pubblica o privata.

Sezione 3, Tipologia:

La sezione presenta tre tabelle di compilazione, di cui una dedicata agli edifici in muratura. In modalità di multi-scelta si possono fornire al massimo due tipi di combinazione tra strutture verticali e orizzontali. Dalla combinazione vengono individuate aree caratterizzate da due diversi livelli di grigio, oltre al fondo bianco, che sottolineano vulnerabilità progressivamente crescenti. Per esempio, la combinazione di strutture verticali in muratura a tessitura irregolare e di cattiva qualità in combinazione con strutture orizzontali costituite da volte senza catene ricade in campo con il livello di grigio più intenso. Nel livello di grigio intermedio ricade invece, sempre a titolo esemplificativo, la combinazione tra strutture verticali in muratura a tessitura regolare e di buona qualità e solai di travi con soletta semirigida. Nello stesso caso, se le strutture verticali sono dotate di catene o cordoli, il campo di combinazione risulta bianco.

Nella seconda tabella è invece possibile descrivere strutture in cemento armato o in acciaio e analizzare la regolarità della forma dell'edificio. Una terza tabella è dedicata all'identificazione del tipo di copertura valutando se spingente o non spingente e se pesante o leggera.

Sezione 4, Danni ad elementi strutturali e provvedimenti di pronto intervento eseguiti:

Nella quarta sezione si registrano i danni agli elementi strutturali catalogati nel seguente modo: strutture verticali, solai, scale, copertura, tamponature-tramezzi. Per ognuno si può assegnare un livello di danno da 1 a 5: D1 leggero, D2-D3 medio grave, D4-D5 gravissimo. Laddove non siano presenti dei danni si contrassegna il campo "Nullo". È prevista la possibilità di segnalare danni progressivi. Tra i provvedimenti di pronto intervento eseguiti, per ogni elemento strutturale è possibile scegliere tra: nessuno, demolizione, cerchiature, riparazioni, puntellature o transennamenti.

Sezione 5, Danni ad elementi non strutturali e provvedimenti di pronto intervento.

Nella quinta sezione si indica se sia presente o meno il danno a elementi non strutturali quali intonaci, rivestimenti, controsoffitti, comignoli, cornicioni, rete idrica, elettrica o fognaria. Per ogni elemento si segnala se siano già stati eseguiti o meno provvedimenti di pronto intervento.

Sezione 6, Pericolo esterno indotto da altre costruzioni e provvedimenti di pronto intervento eseguiti.

Nella sesta sezione si valuta il pericolo indotto da potenziali crolli di strutture adiacenti o danni alle reti di distribuzione, indicando se siano stati già messi in atto o meno provvedimenti di pronto intervento.

Sezione 7, Terreno e fondazioni.

Nella settima sezione si valutano i rischi associati alla morfologia del sito di costruzione e ad eventuali dissesti in atto o potenziali del terreno di fondazione o dei versanti incombenti.

Sezione 8, Giudizio di agibilità.

Nell'ottava sezione si esprime il giudizio di agibilità dell'edificio, tenendo conto del livello di rischio strutturale, non strutturale, esterno e geotecnico valutato nelle precedenti sezioni della scheda. L'edificio può essere dichiarato:

A: Agibile

B: Temporaneamente inagibile, ma agibile con provvedimenti

C: Parzialmente inagibile

D: Temporaneamente inagibile, da rivedere con approfondimento

E: Inagibile

F: Inagibile per rischi esterno

Seguono sottosezioni descrittive sull'accuratezza della visita, sui provvedimenti di pronto intervento da mettere in opera, sul numero di unità immobiliari dichiarate inagibili e il numero conseguente di nuclei famigliari e persone evacuate.

Sezione 9, Altre osservazioni:

La sezione è redatta a discrezione del compilatore con annotazioni. Nella stessa vengono indicati gli allegati di documentazione fotografica del sopralluogo. Si allega di seguito la scheda di primo livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica, AeDES.



**SCHEDA DI 1° LIVELLO DI RILEVAMENTO DANNO, PRONTO INTERVENTO E AGIBILITÀ
PER EDIFICI ORDINARI NELL'EMERGENZA POST-SISMICA**

(AeDES 06/2008)

Codice Richiesta

SEZIONE 1 Identificazione edificio		IDENTIFICATIVO SOPRALLUOGO giorno mese anno	
Provincia:	_____	Squadra	Scheda n. Data
Comune:	_____	IDENTIFICATIVO EDIFICIO	
Frazione/Località: (denominazione Istat)	_____	Istat Reg.	Istat Prov. Istat Comune N° aggregato N° edificio
1 <input type="radio"/> via	_____	Cod. di Località Istat _____ Tipo carta _____	
2 <input type="radio"/> corso	_____ Num. Civico _____	Sez. di censimento Istat _____ N° carta _____	
3 <input type="radio"/> vicolo	_____	Dati Catastali Foglio _____ Allegato _____	
4 <input type="radio"/> piazza	_____	Particelle _____	
5 <input type="radio"/> altro	(Indicare: contrada, località, traversa, salita, etc.) _____	Posizione edificio 1 <input type="radio"/> Isolato 2 <input type="radio"/> Interno 3 <input type="radio"/> D'estremità 4 <input type="radio"/> D'angolo	
Coordinate geografiche (ED50 - UTM uso 32-33)	E _____ Fuso _____ N _____	Denominazione edificio o proprietario _____	
		Codice Uso S _____	

Fotocopia dell'aggregato strutturale con identificazione dell'edificio

SEZIONE 2 Descrizione edificio		Dati metrici		Età		Uso - esposizione		
N° Piani totali con interrati	Altezza media di piano [m]	Superficie media di piano [m ²]		Costruzione e ristrutturaz. [max 2]	Uso	N° unità d'uso	Utilizzazione	Occupanti
		A <input type="radio"/> ≤ 50	I <input type="radio"/> 400 ÷ 500					
<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 9	1 <input type="radio"/> ≤ 2.50	B <input type="radio"/> 50 ÷ 70	L <input type="radio"/> 500 ÷ 650	2 <input type="checkbox"/> 19 ÷ 45	B <input type="checkbox"/> Produttivo	_____	B <input type="radio"/> 30 ÷ 65%	0 0 0
<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 10	2 <input type="radio"/> 2.50 ÷ 3.50	C <input type="radio"/> 70 ÷ 100	M <input type="radio"/> 650 ÷ 900	3 <input type="checkbox"/> 46 ÷ 61	C <input type="checkbox"/> Commercio	_____	C <input type="radio"/> < 30%	1 1 1
<input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 11	3 <input type="radio"/> 3.50 ÷ 5.0	D <input type="radio"/> 100 ÷ 130	N <input type="radio"/> 900 ÷ 1200	4 <input type="checkbox"/> 62 ÷ 71	D <input type="checkbox"/> Uffici	_____	D <input type="radio"/> Non utilizz.	2 2 2
<input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 12	4 <input type="radio"/> > 5.0	E <input type="radio"/> 130 ÷ 170	O <input type="radio"/> 1200 ÷ 1600	5 <input type="checkbox"/> 72 ÷ 81	E <input type="checkbox"/> Serv. Pub.	_____	E <input type="radio"/> In costruz.	3 3 3
<input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> > 12		F <input type="radio"/> 170 ÷ 230	P <input type="radio"/> 1600 ÷ 2200	6 <input type="checkbox"/> 82 ÷ 91	F <input type="checkbox"/> Deposito	_____	F <input type="radio"/> Non finito	4 4 4
<input type="radio"/> 6	Piani interrati	G <input type="radio"/> 230 ÷ 300	Q <input type="radio"/> 2200 ÷ 3000	7 <input type="checkbox"/> 92 ÷ 01	G <input type="checkbox"/> Strategico	_____	G <input type="radio"/> Abbandon.	5 5 5
<input type="radio"/> 7	A <input type="radio"/> 0 C <input type="radio"/> 2	H <input type="radio"/> 300 ÷ 400	R <input type="radio"/> > 3000	8 <input type="checkbox"/> ≥ 2002	H <input type="checkbox"/> Turis-ricet.	_____		6 6 6
<input type="radio"/> 8	B <input type="radio"/> 1 D <input type="radio"/> ≥ 3							7 7 7
								8 8 8
								9 9 9
				Proprietà		A <input type="radio"/> Pubblica B <input type="radio"/> Privata		

Istat Provincia	Istat Comune	Rilevatore	N° scheda	Data
-----------------	--------------	------------	-----------	------

SEZIONE 3 Tipologia (multiscelta; per gli edifici in muratura indicare al massimo 2 tipi di combinazioni strutture verticali-soiai)

Strutture orizzontali \ Strutture verticali	Non identificate	Strutture in muratura						Altre strutture				
		A tessitura irregolare e di cattiva qualità (Pietrame non squadrato, ciottoli,...)		A tessitura regolare e di buona qualità (Blocchi; mattoni; pietra squadrata,...)		Pilastrati soiai	Mista	Rinforzata	Telai in c.a.			
		Senza catene o cordoli	Con catene o cordoli	Senza catene o cordoli	Con catene o cordoli							
A	B	C	D	E	F	G	H	REGOLARITA'	Non regolare A	Regolare B		
1 Non identificate	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1 Forma pianta ed elevazione	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2 Volte senza catene	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	G1	H1	2 Disposizione tamponature	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3 Volte con catene	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Copertura		
4 Travi con soletta deformabile (travi in legno con semplice tavolato, travi e volpine,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NO	G2	H2	1 <input type="radio"/> Spingente pesante		
5 Travi con soletta semirigida (travi in legno con doppio tavolato, travi e tavelloni,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2 <input type="radio"/> Non spingente e pesante		
6 Travi con soletta rigida (solai di c.a., travi ben collegate a solette di c.a.,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		G3	H3	3 <input type="radio"/> Spingente leggera		
										4 <input type="radio"/> Non spingente e leggera		

SEZIONE 4 Danni ad ELEMENTI STRUTTURALI e provvedimenti di pronto intervento (P.I.) eseguiti

Livello - estensione \ Componente strutturale - Danno preesistente	DANNO (1)										PROVEDIMENTI DI P.I. ESEGUITI					
	D4-D5 Gravissimo			D2-D3 Medio grave			D1 Leggero			Nullo	Nessuno	Demolizioni	Cerchiature e/o tiranti	Riparazione	Puntelli	Trasenne e protezione passaggi
	> 2/3	1/3 - 2/3	< 1/3	> 2/3	1/3 - 2/3	< 1/3	> 2/3	1/3 - 2/3	< 1/3							
A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	A	B	C	D	E	F	
1 Strutture verticali	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 Solai	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 Scale	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4 Copertura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 Tamponature-tramezzi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6 Danno preesistente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

(1) - Di ogni livello di danno indicare l'estensione solo se esso è presente. Se l'oggetto indicato nella riga non è danneggiato campire **Nulla**.

SEZIONE 5 Danni ad ELEMENTI NON STRUTTURALI e provvedimenti di pronto intervento eseguiti

Tipo di danno	PRESENZA DANNO	PROVEDIMENTI DI P.I. ESEGUITI					
		Nessuno	Rimozione	Puntelli	Riparazione	Divieto di accesso	Trasenne e protezione passaggi
	A	B	C	D	E	F	G
1 Distacco intonaci, rivestimenti, controsoffitti...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 Caduta tegole, cornicioni...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 Caduta cornicioni, parapetti...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4 Caduta altri oggetti interni o esterni	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 Danno alla rete idrica, fognaria o termoidraulica	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6 Danno alla rete elettrica o del gas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

SEZIONE 6 Pericolo ESTERNO indotto da altre costruzioni e provvedimenti di p.i. eseguiti

Causa potenziale	PERICOLO SU			PROVVEDIM. DI P.I. ESEGUITI	
	Edificio	Via d'accesso	Vie interne	Divieto di accesso	Trasenne e protez. passaggi
	A	B	C	D	E
1 Crolli o cadute da altre costruzioni	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 Rottura di reti di distribuzione	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

SEZIONE 7 Terreno e fondazioni

MORFOLOGIA DEL SITO				DISSESTI (in atto o temibili): <input type="checkbox"/> Versanti incombenti <input type="checkbox"/> Terreno di fondazione			
1 <input type="radio"/> Cresta	2 <input type="radio"/> Pendio forte	3 <input type="radio"/> Pendio leggero	4 <input type="radio"/> Pianura	A <input type="radio"/> Assenti	B <input type="radio"/> Generati dal sisma	C <input type="radio"/> Acuti dal sisma	D <input type="radio"/> Preesistenti

NOTE ESPLICATIVE SULLA COMPILAZIONE DELLA SCHEDA AeDES 05/2000

La scheda va compilata per un **intero edificio** intendendo per edificio una unità strutturale "cielo terra", individuabile per caratteristiche tipologiche e quindi distinguibile dagli edifici adiacenti per tali caratteristiche e anche per differenza di altezza e/o età di costruzione e/o piani sfalsati, etc.

La scheda è divisa in **9 sezioni**. Le informazioni sono generalmente definite annerendo le caselle corrispondenti; in alcune sezioni la presenza di caselle quadrate () indicano la possibilità di **multiscelta**: in questi casi si possono fornire più indicazioni; le caselle tonde () indicano la possibilità di una singola scelta. Dove sono presenti le caselle [] si deve scrivere in stampatello appoggiando il testo a sinistra ed i numeri a destra.

Sezione 1 - Identificazione edificio.

Indicare i dati di localizzazione: Provincia, Comune e Frazione.
IDENTIFICATIVO SCHEDA: Il rilevatore riporta il proprio numero assegnato dal coordinamento centrale, un numero progressivo di scheda e la data del sopralluogo.

IDENTIFICATIVO EDIFICIO

L'organizzazione del rilevamento prevede un Coordinamento Tecnico e la collaborazione dell'ufficio tecnico comunale. Questo ha tra l'altro il compito di assistenza per l'espletamento del lavoro dei rilevatori e per l'individuazione degli edifici. L'edificio in generale non è pre-individuato ed è quindi compito del rilevatore il suo riconoscimento e la sua identificazione sulla cartografia riportata nello spazio della prima facciata. Il codice identificativo dell'edificio, costituito dall'insieme dei dati della prima riga nello spazio in grigio, viene poi assegnato, in modo univoco, presso il coordinamento comunale dove i rilevatori, dopo la visita comunicano l'esito del sopralluogo. La numerazione degli aggregati e degli edifici deve essere tenuta aggiornata in una cartografia generale presso il coordinamento comunale in modo che i rilevatori possano riferire le visite di sopralluogo, che sono richieste in genere su unità immobiliari, all'edificio che effettivamente le contiene. Per l'identificativo, il n° di carta, i dati Istat e i dati catastali è necessario quindi avvalersi della collaborazione del coordinamento comunale.
Posizione edificio: se l'edificio non è isolato su tutti i lati, va indicata la sua posizione all'interno dell'aggregato (Interno, d'estremità, angolo). **Denominazione edificio o proprietario:** indicare la denominazione se edificio pubblico o il nome del condominio o di uno dei proprietari se privato (es. : Condominio Verde, Rossi Mario).

Sezione 2 - Descrizione edificio

N° piani totali con interrati: indicare il numero di piani complessivi dell'edificio dallo spiccato di fondazioni incluso quello di sottotetto solo se praticabile. Computare interrati i piani mediamente interrati per più di metà della loro altezza. **Altezza media di piano:** indicare l'altezza che meglio approssima la media delle altezze di piano presenti. **Superficie media di piano:** va indicato l'intervallo che comprende la media delle superfici di tutti i piani. **Età (2 opzioni):** è possibile fornire 2 indicazioni: la prima è sempre l'età di costruzione, la seconda è l'eventuale anno in cui si sono effettuati eventuali interventi sulle strutture. **Uso (multiscelta):** indicare i tipi di uso compresenti nell'edificio. **Utilizzazione:** l'indicazione abbandonato si riferisce al caso di *non utilizzato in cattive condizioni*.

Sezione 3 - Tipologia (massimo 2 opzioni)

Per gli edifici in muratura si possono segnalare le due combinazioni: strutture orizzontali e verticali prevalenti o più vulnerabili; ad esempio: volte senza catene e muratura in pietrame al 1° livello (2B) e solai rigidi (in c.a.) e muratura in pietrame al 2° livello (6B). La muratura è distinta in due tipi in ragione della qualità (materiali, legante, realizzazione) e per ognuno è possibile segnalare anche la presenza di cordoli o catene se sono sufficientemente diffusi; è anche da rilevare l'eventuale presenza di pilastri isolati, siano essi in c.a., muratura, acciaio o legno e/o la presenza di situazioni miste di muratura e strutture intelaiate. Gli edifici si considerano con strutture intelaiate di c.a. o d'acciaio, se l'intera struttura portante è in c.a. o in acciaio. Situazioni miste (muratura-telai) o rinforzi vanno indicate, con modalità multiscelta, nelle colonne G ed H della parte "muratura".

- G1 : c.a. (o altre strutture intelaiate) su muratura
- G2 : muratura su c.a. (o altre strutture intelaiate)
- G3 : Muratura mista a c.a. (o altre strutture intelaiate) in parallelo sugli stessi piani

- H1: Muratura rinforzata con iniezioni o intonaci non armati
- H2: Muratura armata o con intonaci armati
- H3: Muratura con altri o non identificati rinforzi

Per le strutture intelaiate le tamponature sono irregolari quando presentano dissimmetrie in pianta e/o in elevazione o sono in pratica completamente assenti in un piano in almeno una direzione.

Sezione 4 - Danni ad ELEMENTI STRUTTURALI PRINCIPALI ...

I danni da riportare nella sezione 4 sono quelli 'apparenti', cioè quelli riscontrabili a vista. Nella tabella ogni riga è riferita ad un tipo di componente l'organismo strutturale, mentre le colonne sono differenziate in modo da consentire di rilevare i livelli di danno presenti sulla componente e le relative estensioni in percentuale rispetto alla sua totalità nell'edificio.

La definizione del livello di danno riscontrato è di particolare rilevanza, essa è basata sulla scala macrosismica europea EMS98, integrata con le definizioni puntuali utilizzate nelle schede di rilievo GNDT. In particolare si farà riferimento alla sommaria descrizione riportata di seguito, maggiori dettagli sono riportati nel manuale:

D1 danno leggero è un danno che non cambia in modo significativo la resistenza della struttura e non pregiudica la sicurezza degli occupanti a causa di cadute di elementi non strutturali; il danno è leggero anche se queste ultime possono rapidamente essere scongiurate.

D2-D3 danno medio – grave: è un danno che potrebbe anche cambiare in modo significativo la resistenza della struttura senza che venga avvicinato palesemente il limite del crollo parziale di elementi strutturali principali.

D4-D5 danno gravissimo: è un danno che modifica in modo evidente la resistenza della struttura portandola vicino al limite del crollo parziale o totale di elementi strutturali principali. Stato descritto da danni superiori ai precedenti, incluso il collasso.

Provvedimenti di pronto intervento eseguiti: sono quelli che con tempi e mezzi limitati conseguono una eliminazione o riduzione accettabile del rischio; vanno indicati quelli già messi in atto.

Sezione 5 - Danni ad ELEMENTI NON STRUTTURALI...

Per gli elementi non strutturali va indicata la presenza del danno e gli eventuali provvedimenti già in atto, con modalità multiscelta.

Sezione 6 - Pericolo ESTERNO ed interventi di (p.i.) eseguiti

Indicare i pericoli indotti da costruzioni adiacenti e/o dal contesto e gli eventuali provvedimenti presi, con modalità multiscelta.

Sezione 7 - Terreno e fondazioni

Va individuata la morfologia del sito ed eventuali dissesti sul terreno e/o sulla fondazione, in atto o temibili.

Sezione 8 - Giudizio di AGIBILITÀ

Il rilevatore stabilisce le condizioni di rischio dell'edificio (tabella *valutazione del rischio*) sulla base delle informazioni raccolte, dell'ispezione visiva e delle proprie valutazioni, relativamente alle condizioni strutturali (Sezione 3 e 4 - Tipologia e danno), alle condizioni degli elementi non strutturali (Sezione 5), al pericolo derivante dalle altre costruzioni (Sezione 6) e alla situazione geotecnica (Sezione 7); . L'esito **B** va indicato quando la riduzione del rischio si può conseguire con il *pronto intervento (opere di consistenza limitata, di rapida e facile esecuzione che rendono agibile l'edificio)*. L'esito **D** solo in casi particolarmente problematici e soprattutto se si tratta di edifici pubblici la cui inagibilità compromette funzioni importanti.

Unità immobiliari inagibili, famiglie e persone evacuate: sono da indicare gli effetti del giudizio di inagibilità, qualora confermato dal Sindaco; vanno pertanto indicate anche le famiglie e persone da evacuare, oltre a quelle che abbiano già lasciato l'edificio.

Provvedimenti di pronto intervento: indicare i provvedimenti necessari per rendere agibile l'edificio e/o per eliminare rischi indotti.

Sezione 9 - Altre osservazioni

Accuratezza della visita: indicare con quale livello di accuratezza e completezza è stato possibile effettuare il sopralluogo .

Sul danno, sui provvedimenti di pronto intervento, l'agibilità o altro: riportare le annotazioni che si ritengono importanti per meglio precisare i vari aspetti del rilevamento. L'eventuale fotografia d'insieme dell'edificio deve essere spillata nel riquadro tratteggiato in chiaro e nel solo angolo in alto a destra.

2.1.2 *La diagnostica per le Chiese e i Palazzi colpiti dal sisma*

La parte più importante ed efficace delle schede per il rilievo del danno nelle chiese e nei palazzi consiste negli abachi dei meccanismi di danno. La loro sintetica identificazione rappresenta un grande avanzamento della ricerca, particolarmente utile all'osservazione sul campo, in quanto essi permettono al compilatore di comprendere velocemente in che modo il sisma abbia agito sulle strutture⁸⁷. Il concetto di macroelemento, come porzione di fabbrica caratterizzata da una risposta strutturale autonoma, richiede che l'edificio possieda le seguenti buone caratteristiche costruttive:

1. Le murature sono a ricorsi regolari e distribuiscono le sollecitazioni in modo uniforme.
2. La tessitura nello spessore murario è in grado d'impedire la separazione tra paramenti⁸⁸.
3. Le malte sono di buona qualità.

In genere gli edifici monumentali come le chiese e i palazzi possiedono queste caratteristiche, che hanno peraltro assicurato, anche grazie alle opportune e più diffuse opere di manutenzione, la loro conservazione sino ai nostri giorni. La migliore durevolezza delle strutture è qui garantita dall'accuratezza nella scelta dei materiali adottati per costruire e dalla loro messa in opera nel rispetto delle 'regole dell'arte'. Maggiori sono le attenzioni costruttive e manutentive delle strutture, maggiore è la loro probabilità di resistere all'azione orizzontale del sisma. Laddove non vi siano le condizioni di base per il comportamento a macroelementi, la fabbrica risulta molto più vulnerabile, in quanto maggiormente esposta a crolli estesi. All'attivarsi di meccanismi usuali di ribaltamento fuori piano, per esempio, corrispondono di fatto collapsi murari in verticale, frammentati in macerie minute. Laddove la fabbrica non venga palesemente danneggiata, l'interpretazione dei meccanismi di danno

⁸⁷ Gli abachi dei meccanismi di danno sono uno dei risultati più rappresentativi delle ricerche condotte sul terremoto in Friuli (DOGLIONI, MORETTI, PETRINI, 1994). La ricerca è stata condotta, a partire dal 1989, su chiese del territorio friulano colpite dal sisma del 1976. La prima redazione della scheda chiese viene sviluppata nell'ambito di questa ricerca, dopo essere stata sperimentata sul campo nelle provincie di Modena e Reggio Emilia a seguito degli eventi sismici del 1987. Il danno strutturale delle chiese colpite nel sisma friulano è stato studiato scomponendo la fabbrica in porzioni per le quali è stato riconosciuto un comportamento autonomo. È stato così introdotto l'importante concetto di macroelemento, tuttora alla base della lettura e interpretazione dei danni. Si è infatti potuto dimostrare che in corrispondenza di medesime porzioni della fabbrica si ripetono in maniera similare determinati fenomeni fessurativi e deformativi. In tal modo è stata fornita una prima casistica sui danni attesi, da cui poi sono stati definiti i meccanismi di danno per macroelemento. Simili logiche di lettura del danno per scomposizione di porzioni di edifici sono state adottate negli studi post-sisma sui monumenti danneggiati dal terremoto in Irpinia del 1980 (PROIETTI, 1994). Anche in questi studi è stato campionato un ampio repertorio di monumenti danneggiati. Scomponendo la lettura degli edifici in elementi costruttivi che hanno dato risposte autonome alle sollecitazioni sismiche, si è potuta confermare una certa ricorrenza per tipologia di elemento e per costanti a contorno, come per esempio il degrado progressivo.

⁸⁸ La separazione tra paramenti è un fenomeno molto comune soprattutto in presenza di murature a sacco con nucleo decoeso e non aderente ai paramenti murari, ovvero in assenza di diatoni o altri elementi di connessione trasversale. Vanno inoltre segnalati i numerosi casi in cui muri di sezione apparentemente grande sono il risultato di due muri più sottili addossati, talvolta anche rivestiti internamente da intonaco.

risulta comunque difficoltosa e ciò può generare incertezze sulla progettazione di opere provvisorie per la messa in sicurezza e per il successivo restauro.

Occorrerebbe pertanto in ogni caso attivare precise procedure di controllo preventive della qualità costruttiva della fabbrica storica nelle regioni ad alto rischio sismico. Verificare le condizioni di attivazione dei meccanismi di collasso, è molto importante, per ognuno di questi, verificare la presenza o meno di determinati presidi antisismici o di condizioni di vulnerabilità.

2.1.2.1 Controllo della qualità costruttiva

Come già detto nel precedente paragrafo, i controlli diagnostici di qualità dei materiali e delle strutture, in relazione alle condizioni di criticità che di fatto negano il comportamento di collasso per macroelementi, offrirebbero i migliori risultati in termini di ricadute sulla conservazione degli edifici se effettuati preventivamente. Tuttavia, si possono immaginare alcuni scenari post-sisma in cui tali verifiche possano in ogni caso dare informazioni utili. Le diverse possibilità di applicazione delle procedure di controllo possono essere così suddivise:

1. Controlli di qualità in misura preventiva:

In territori a rischio sismico, in situazione ordinaria, gli esiti dei controlli della qualità costruttiva, condotti estensivamente su tutti gli edifici a carattere monumentale, possono fornire una mappatura a scala territoriale degli edifici ad elevata vulnerabilità sismica e la programmazione di interventi per il miglioramento sismico preventivo⁸⁹.

2. Controllo di qualità post sisma con danni lievi:

In un certo senso, il sisma stesso e i suoi effetti sulle strutture rappresentano il primo test diagnostico. In condizioni di qualità costruttiva scadente difficilmente il danno risulta di lieve entità. Tuttavia, in particolari condizioni, per esempio con sismi di bassa intensità o con suoli dalle caratteristiche particolarmente favorevoli, può verificarsi un danneggiamento lieve. In questo caso il controllo diagnostico può effettivamente dare risposte importanti in termini d'interpretazione dei danni e per la programmazione dei provvedimenti di pronto intervento, messa in sicurezza e restauro relativamente a strutture particolarmente vulnerabili.

3. Controllo di qualità post collasso:

In condizioni di criticità tali da negare un comportamento di collasso per macroelementi è molto probabile uno scenario di danno esteso con compromissione grave e crollo di importanti

⁸⁹ Per un approfondimento sulle strategie di individuazione preventiva della vulnerabilità sismica dell'edilizia storica si rimanda a DONATELLI 2010.

porzioni della fabbrica. Con crolli estesi, molte strutture prima non facilmente ispezionabili si rendono direttamente analizzabili e anche le possibilità di campionamento estensivo e applicazione di indagini maggiormente invasive viene facilitato dalla elevata compromissione della struttura. Pertanto, il controllo diagnostico in questo caso può essere finalizzato alla raccolta di dati utili allo studio delle condizioni di elevata vulnerabilità.

I controlli di qualità hanno l'obiettivo verificare i requisiti già citati che permettono un comportamento soddisfacente nei confronti delle sollecitazioni sismiche. Principalmente consistono in controlli della qualità muraria, con approfondimenti sulle caratteristiche delle malte (TAB.2.1.1).

TABELLA 2.1.1		
Requisito di qualità costruttiva	Oggetto del controllo di qualità	
Muratura a ricorsi regolari.	Tessitura muraria.	Controllo della qualità muraria (TAB.2.1.3)
Tessitura nello spessore murario in grado di impedire la separazione tra paramenti.	Caratteristiche interne dello spessore murario.	
Buona qualità delle malte.	Caratteristiche materiche e tecnologiche delle malte.	Controllo di qualità delle malte (TAB.2.1.4)

Controllo della qualità muraria

Murature a vista

Il miglior modo di diagnosticare la qualità di una muratura è ispezionarla visivamente. Validi strumenti per la raccolta dei dati relativi alle murature sono già disponibili. Uno di questi, realizzato appositamente per il rilievo durante l'emergenza sismica, è la 'Scheda per il rilievo della tipologia muraria' elaborata dal GNDT e sperimentata nel sisma del Molise del 2002⁹⁰. La scheda consente di registrare i materiali utilizzati, la loro lavorazione, le dimensioni degli elementi litici e lo stato di conservazione. Per quanto concerne i dati relativi alle malte si registrano la tipologia, lo stato di conservazione e la funzione. Di particolare importanza per la valutazione della qualità delle murature sono i campi di descrizione della posa in opera degli elementi, che tengono conto della tessitura muraria e dello sfalsamento dei giunti verticali. Sono altresì registrabili le caratteristiche costruttive

⁹⁰ La grande varietà di tipologie murarie presenti nei centri storici molisani colpiti dal sisma del 2002 determinò la necessità di definire un vero e proprio repertorio. Il censimento dei danni agli edifici monumentali fu quindi condotto allegando alle schede del rilievo del danno la 'Scheda Murature', compilata per ogni tipologia muraria presente all'interno del manufatto. Lo stesso strumento fu introdotto per l'edilizia ordinaria all'interno del "Protocollo di Progettazione Esecutiva degli interventi post sisma 2002".

in sezione, se ispezionabili. In coda alla scheda vengono infatti definiti i meccanismi interni alla muratura, compresi quelli che portano a comportamenti di tipo disgregativo, fornendo quindi i necessari criteri di lettura e interpretazione dei danni in funzione della tipologia muraria.

Un altro metodo di verifica della qualità delle murature molto utilizzato è il metodo IQM, Indice della Qualità Muraria⁹¹. Il metodo si basa su alcune ricerche sperimentali su murature storiche del territorio umbro che hanno permesso di dimostrare che esiste una correlazione tra la resistenza meccanica e il rispetto delle regole dell'arte. L'obiettivo del metodo è quello di fornire una stima delle prestazioni meccaniche delle murature storiche in relazione a carichi verticali, sforzi fuori piano e sforzi nel piano. Per ciascuna delle tre tipologie di azioni viene attribuito un punteggio (IQM). Il punteggio corrisponde per correlazione alle caratteristiche di resistenza della muratura per lo specifico tipo di azione. L'IQM è a sua volta costituito dal risultato di un'ulteriore relazione che prende in considerazione sette caratteristiche fondamentali della muratura e della regola dell'arte, ciascuna delle quali può essere rispettata (punteggio attribuito per un massimo di 3), parzialmente rispettata (punteggio attribuito per un massimo di 1), non rispettata (punteggio attribuito 0):

1. Qualità della malta
2. Presenza di diatoni
3. Forma degli elementi resistenti
4. Dimensione degli elementi resistenti
5. Corretto sfalsamento dei giunti verticali
6. Orizzontalità dei filari
7. Qualità degli elementi resistenti

La Scheda per il rilievo della tipologia muraria, elaborata dal GNDT e sperimentata nel sisma del Molise del 2002, e la Scheda sintetica per la valutazione della qualità muraria (IQM), sono allegate rispettivamente a pag.135 e a pag.141.

⁹¹ Il metodo Indice della Qualità Muraria IQM è stato proposto da Borri e De Maria nel 2003 nell'ambito di una ricerca condotta per la Regione Umbria. Perfezionato successivamente in ambito ReLUIIS è stato poi presentato in vari convegni e pubblicato in varie riviste (BORRI, DE MARIA 2009), (BORRI ET AL. 2011), (BORRI ET AL. 2014), (BORRI, DE MARIA 2015), (BORRI, DE MARIA 2019).

Murature non a vista: indagine non invasiva per la determinazione della tessitura muraria.

L'analisi a vista delle murature è molto efficace per la valutazione della loro qualità costruttiva ma, ovviamente, non può essere effettuata in presenza di superfici intonacate. La termografia è l'unica indagine non invasiva che permette, a determinate condizioni, d'ispezionare la tessitura muraria⁹². I risultati più soddisfacenti si possono ottenere scegliendo d'indagare le superfici tramite termografia attiva, ovvero riscaldando artificialmente le superfici, mediante l'utilizzo di lampade o 'cannoni' che emettono flussi di aria calda e registrando poi le emissioni di radiazione infrarossa provenienti dai materiali sollecitati termicamente. Questa procedura richiede però un notevole impiego di attrezzature e le giuste condizioni per programmare nel dettaglio la campagna di indagine. Peraltro, è poco indicata per analizzare i fronti esterni, risultando più efficace negli interni. Non è pertanto particolarmente adatta alle verifiche in emergenza, dove la rapidità e la semplicità delle procedure di misura possono rivelarsi necessarie. La termografia passiva non necessita invece di particolari attrezzature, in quanto misura l'emissione infrarossa dei materiali nelle loro condizioni stazionarie di esercizio, senza influenzarne il regime termico. Di contro, la qualità delle immagini termografiche di superfici al disotto dello spessore dell'intonaco può peggiorare significativamente⁹³. Tuttavia, con un adeguato *post-processing* delle immagini in falso colore, si può notevolmente migliorare la leggibilità delle tessiture murarie, con il contemporaneo vantaggio di leggere simultaneamente anche altre caratteristiche⁹⁴ delle superfici come per esempio le zone di distacco di intonaci e rivestimenti, o zone umide della muratura⁹⁵ (Figg.2.1.1, 2.1.2, 2.1.3). Il maggior vantaggio della tecnica nel contesto

⁹² La visione termografica rimane un tipo di indagine piuttosto di superficie, pertanto spessori di intonaco superiori ai 5 cm circa non consentono la cattura di immagini termografiche utili alla lettura della tessitura muraria. Per approfondimenti sui principi di funzionamento della tecnica si veda pag.28.

⁹³ Un modo per simulare l'effetto della sollecitazione termica artificiale in termografia passiva è quello di sfruttare il naturale irraggiamento solare. Le riprese si effettuano dopo il tramonto, quindi nel momento in cui i materiali riemettono parte della radiazione infrarossa assorbita durante il giorno. Ovviamente, i risultati migliori si ottengono con le superfici particolarmente esposte all'irraggiamento solare e durante la stagione estiva.

⁹⁴ Se sostenuta da studi preliminari sulle tipologie di materiale lapideo disponibile nel territorio, l'indagine termografica può restituire indicazioni anche sull'impiego di litotipi differenti. Di esempio, in tal senso sono, le ricerche sperimentali condotte dal Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche dell'Università degli Studi di Cagliari (FRONGIA ET AL., 2013). L'approccio multidisciplinare che caratterizza questo studio è molto interessante ed esemplificativo dal punto di vista metodologico. A monte delle indagini termografiche effettuate sulle chiese di San Giorgio, Sant'Anna e Santa Margherita nel centro storico di Siliqua (CA), sono state effettuate riprese termografiche dei più comuni litotipi utilizzati nel territorio, individuati dalle *facies* geologiche di provenienza. Ciò ha permesso di normalizzare il segnale termografico, laddove si è riscontrata una significativa differenza di temperatura rilevata. In questo modo non solo è stato possibile analizzare tessiture murarie coperte da intonaco, ma anche discriminare i differenti litotipi utilizzati in muratura. Nel caso della Chiesa di San Giorgio inoltre, si è potuta evidenziare nella parte basamentale della facciata un'alternanza di filari realizzati in differenti materiali, tecnica tipica del periodo romanico in Sardegna. Questo dato ha potuto confermare differenti fasi costruttive della facciata stessa.

⁹⁵ L'elaborazione in falso colore delle immagini termografiche può essere a colori o in scala di grigi. Nell'immagine a colori in genere le zone blu/verdi corrispondono a bassi livelli di emissione (zone fredde), quelle

dell'emergenza sismica risiede non solo e non tanto nella sua non invasività, caratteristica che ha i suoi vantaggi in ogni contesto, ma piuttosto nella possibilità di essere effettuata a distanza, pertanto in condizioni di sicurezza per gli operatori. Anche per questo motivo la tecnica termografica verrà proposta nei prossimi paragrafi anche per molte altre applicazioni. Un buon esempio di applicazione dell'ispezione termografica in condizioni di emergenza sismica è rappresentato dalla sperimentazione del sistema IRpano, sviluppato presso l'ITC-CNR (CADELANO ET AL, 2015). IRpano è un sistema robotico che permette di acquisire ed elaborare automaticamente le immagini termiche di ampie superfici e produrre in tempi rapidi una visione panoramica delle temperature rilevate. I risultati di una prima sperimentazione, condotta sulla Chiesa di Santo Stefano di Sessanio (AQ) poco prima del sisma del 6 Aprile del 2009, hanno dimostrato come l'indagine sia utile a valutare in via preventiva la vulnerabilità degli edifici monumentali storici in zona sismica. Infatti, l'immagine termografica della facciata della chiesa ha mostrato chiaramente una tessitura muraria a bozze, coperta dall'intonaco. Solo all'angolo con le pareti laterali è stata rilevata la presenza di muratura a conci squadrati, composta da due paramenti contrapposti non ammorsati. Inoltre, sono state evidenziate lesioni sub-superficiali non visibili ad occhio nudo, probabilmente dovute alla sollecitazione di un tirante applicato alla parete. Dal confronto del danno subito poco dopo, in occasione del sisma aquilano, il quadro riportato dalle immagini termografiche è risultato confermato, a dimostrazione della validità del sistema di indagine (Fig.2.1.4). Il sistema è stato pertanto sperimentato anche a seguito del sisma evidenziando l'opportunità di poter eseguire attività diagnostiche in tempi rapidi e con il minimo di esposizione del personale a condizioni di lavoro pericolose. Un caso studio significativo in tal senso è stato l'utilizzo del sistema IRpano all'interno della chiesa di Santa Lucia a Rocca di Cambio (AQ). In questo caso, a sisma già avvenuto, è stato possibile indagare in breve tempo e in condizioni di sicurezza del personale, grazie al funzionamento quasi del tutto automatizzato dell'apparecchiatura, la tessitura muraria interna dell'edificio, le cui pareti sono completamente affrescate. L'ispezione ha permesso anche di evidenziare le lesioni prodotte dal sisma (Fig.2.1.5). Le immagini termografiche sono state fornite al personale addetto alla gestione dell'emergenza pochi minuti dopo l'ispezione.

arancio/rosse corrispondono ad alti livelli di emissione (zone calde). In scala di grigi i livelli tendenti al nero corrispondono a bassi livelli di emissione (zone fredde), quelli tendenti al bianco corrispondono ad alti livelli di emissione (zone calde).

Murature non a vista: indagine invasiva per la determinazione della tessitura muraria.

Avendo la possibilità di avvicinarsi alle murature, in occasione ad esempio di operazioni di messa in sicurezza, quali messa in opera di puntellamenti o montaggio di ponteggi addossati alle pareti, può risultare opportuno prevedere di effettuare alcuni saggi distaccando porzioni di intonaco. Questa modalità d'indagine dovrebbe essere scelta in presenza di intonaci recenti. Una volta scelta l'opzione del saggio demolitivo, risulta naturalmente opportuno perseguire la massima rappresentatività delle tipologie murarie presenti nell'edificio. Se si ha un'idea sufficientemente chiara delle fasi costruttive della fabbrica si può procedere con un saggio in corrispondenza di ognuna di esse. In situazioni di incertezza, si può disporre comunque di una fase pre-diagnostica in termovisione che aiuti a selezionare le zone più rappresentative in cui effettuare i saggi. Peraltro, durante un sisma i rivestimenti tendono a danneggiarsi e distaccarsi, lasciando scoperte porzioni di muratura o rimanendo pericolosamente separati dal substrato senza crollare. In quest'ultimo caso, spesso in pronto intervento si opta comunque per la rimozione, pertanto si può contestualmente eseguire il controllo della muratura in quel punto. L'eliminazione dell'intonaco può inoltre consentire di svolgere il controllo stratigrafico del materiale distaccato⁹⁶. All'interno della stratigrafia è opportuno procedere alla caratterizzazione del materiale per valutarne il recupero o la riproposizione in fase di restauro, mediante l'uso di materiali e tecniche tradizionali, in modo da restituire superfici intonacate più pertinenti alla fabbrica.

⁹⁶ Vedi pag. 61

Sezioni murarie non ispezionabili: indagini non invasive.

Per indagare in modalità non invasiva le caratteristiche della struttura e lo stato di conservazione interni delle murature le prove soniche sono fondamentali. Tutte le prove soniche sono eseguibili a contatto con le murature, pertanto è impossibile prevederne l'applicazione in fase di rilievo del danno. Si può invece collocare questa tipologia di indagini nella fase di messa in sicurezza delle strutture, in occasione della realizzazione di puntellamenti delle pareti o di cerchiature di colonne o pilastri. Esistono tre principali tipologie di prove eseguibili allo scopo di caratterizzare la struttura interna delle murature⁹⁷:

1. Indagini con georadar
2. Tomografia sonica
3. Prove ultrasoniche

Le indagini con georadar hanno il vantaggio di poter essere applicate a vaste porzioni di muratura, rilevando anomalie anche in murature di consistente spessore⁹⁸. L'elevata sensibilità della tecnica alla presenza di acqua riduce però l'efficacia dell'indagine in profondità, problematica particolarmente sensibile per le murature molto umide⁹⁹.

Le prove ultrasoniche offrono maggiore qualità di dettaglio rispetto a quelle soniche, ma risentono anche fortemente dell'elevata porosità nei materiali e sono quindi spesso difficilmente interpretabili se applicate alle murature storiche (Fig. 2.1.6).

Le prove soniche, invece, restituiscono dati meno precisi ma più leggibili e risultano particolarmente comode in quanto adatte anche alla valutazione dello stato di degrado nei materiali lignei (Fig. 2.1.7). La versatilità della tecnica può costituire un motivo ulteriore di selezione per indagini in emergenza sismica in quanto con un'unica strumentazione si possono indagare differenti materiali presenti nell'edificio. Una dimostrazione dell'affidabilità della tecnica è stata fornita, per esempio, in

⁹⁷ Vedi pag. 27

⁹⁸ Contestualmente all'indagine sulla sezione muraria, la tecnica ha dato ottimi risultati per il controllo del distacco dei rivestimenti lapidei o litoidi (BINDA ET AL., 2005) permettendo accurate mappature delle aree distaccate. Tale applicazione può essere di particolare importanza in emergenza sismica. I distacchi dei rivestimenti lapidei post sisma sono molto frequenti e costituiscono un pericolo importante per la popolazione e per gli operatori. Pertanto, un'adeguata mappatura dei rivestimenti distaccati può essere strategica sia dal punto di vista conservativo che per ragioni di sicurezza.

⁹⁹ L'elevata sensibilità all'umidità riduce la leggibilità del radargramma in profondità, di contro però essa può consentire utili informazioni sulla distribuzione dell'acqua nelle murature e rende talvolta possibile la lettura della quota dei fronti di risalita capillare sub-superficiali. Lo stesso principio può essere applicato anche alle strutture lignee umide (COLLA, 2009).

occasione di una campagna di controlli diagnostici eseguiti sui pilastri della cattedrale di Tricarico (MT), a cura dell'Istituto di Beni Archeologici e Monumentali di Lecce, IBAM-CNR (LEUCCI G. ET AL. 2011). La chiesa aveva subito danni già a seguito del terremoto in Irpinia del 1980. Alla fine degli anni '80, in occasione dei lavori di restauro post sisma, sono state disposte calotte in cemento armato all'estradosso delle volte delle due navate laterali. A partire dai primi anni 2000 la Soprintendenza per i Beni Architettonici della Basilicata ha avviato il monitoraggio delle strutture, con particolare riferimento agli otto pilastri che dividono la navata centrale dalle laterali, gravemente lesionati. In un primo momento sono stati eseguiti carotaggi puntuali su alcuni pilastri, al fine d'individuare lesioni e vuoti interni. L'analisi delle carote estratte e le indagini endoscopiche condotte all'interno dei fori di estrazione hanno evidenziato un quadro piuttosto preoccupante che ha richiesto un approfondimento dell'indagine diagnostica in grado di fornire una visione complessiva delle condizioni interne dei pilastri. L'indagine condotta è stata effettuata combinando le tecniche georadar e tomografia sonica. Dall'esame dei tomogrammi riferiti alle stesse quote di estrazione delle carote, non solo sono state del tutto confermate le condizioni dei pilastri, ma è stato inoltre possibile verificare l'andamento delle lesioni all'interno del nucleo e sono stati localizzati vuoti non identificati in precedenza (Fig.2.1.8).

Talvolta è anche capitato che campagne mirate al monitoraggio delle strutture abbiano inaspettatamente rivelato informazioni utili alla ricostruzione della loro storia conservativa. Per esempio, in occasione di una complessa campagna di indagini nella chiesa di S. Nicolò l'Arena a Catania, condotta a seguito del sisma che nel 1990 colpì la Sicilia sud-orientale, sono emersi dati riferibili alla storia sismica e conservativa della chiesa. In particolare, i tomogrammi relativi alle sezioni dei pilastri della navata centrale hanno mostrato un'inconsueta maggiore densità del nucleo interno rispetto a una zona di circa 30 cm di spessore esterna (Fig.2.1.9). È stato così possibile, anche incrociando i risultati di altre analisi e studiando la storia costruttiva e sismica dell'edificio, comprendere che i pilastri erano stati ispessiti mediante la tecnica localmente denominata "incoccio", a seguito di danni sismici riportati nel 1818 oppure nel 1848 (BINDA ET AL. 2003).

Sezioni murarie non ispezionabili: indagini invasive.

In presenza di particolari condizioni, ovvero quando le pareti da ispezionare non presentino decorazioni di pregio e quando sia possibile individuare sezioni murarie da ispezionare adeguatamente rappresentative dell'intera parete, si può scegliere l'indagine di tipo invasivo mediante carotaggio e video-endoscopia. Le due indagini, anche se effettuabili indipendentemente tra loro, possono essere eseguite in combinazione e ciò può risultare utile particolarmente in emergenza sismica¹⁰⁰. Ovviamente, questo tipo d'indagine in emergenza può essere disposto solo nel corso del cantiere di messa in sicurezza, data l'interazione diretta stabilita con la muratura. Il sistema combinato tra carotaggio e video-endoscopia fornisce un'informazione molto completa. L'esame della carota aiuta alla classificazione della tipologia muraria, fornendo dati sulle caratteristiche fisiche e costruttive delle componenti e sulla loro variabilità all'interno dello spessore delle pareti, compresi eventuali vuoti interni. Inoltre, per quanto concerne la valutazione dei singoli materiali si possono ottenere immediate indicazioni sulle loro caratteristiche e condizioni conservative. In laboratorio i provini possono essere sottoposti a prove di resistenza a compressione. Altro materiale della carota può essere analizzato per determinare ulteriori caratteristiche materiche. L'utilizzo del foro prodotto dal carotaggio per l'esame endoscopico non solo rappresenta un modo efficiente, ottimizzato e rapido d'indagine, ma fornisce una lettura 'in negativo' di quanto osservabile sulla carota. In effetti, apparentemente i dati forniti dall'una o dall'altra tipologia d'indagine diagnostica sono gli stessi, ma i vantaggi e gli svantaggi delle due tecniche sono complementari e in combinazione tra loro, i vantaggi si sommano e gli svantaggi si attenuano. La lettura diretta della carota consente una più immediata ispezionabilità e una conseguentemente più agevole interpretazione dei dati, ma risente dell'alterazione del materiale, inevitabilmente sottoposto a stress durante l'estrazione. La video-endoscopia fornisce immagini più difficili da leggere e interpretare, ma permette la visione di materiale meno alterato. Dalla combinazione delle due tecniche si possono quindi ricavare dati sulle variazioni morfologiche nello spessore della muratura, discontinuità tra paramenti e nucleo interno, spessore della malta tra gli elementi lapidei della muratura, stato di conservazione della malta e presenza di cavità interne.

¹⁰⁰ Dopo il sisma in dell'Irpinia del 1980, la Soprintendenza ai Beni Architettonici e Ambientali della Basilicata promosse una serie di studi e ricerche finalizzate ad approfondire la metodologia di indagine conoscitiva sui monumenti colpiti dal sisma. Il progetto, diretto dal Soprintendente Zampino, si avvale della collaborazione scientifica dei professori Giorgio Croci, Giorgio Torraca e Giambattista del Tommasi. Le indagini svolte su 28 cantieri in corso si avvalsero di molte prove per la verifica dei materiali e delle strutture, tra cui la sistematica combinazione di carotaggi e prove endoscopiche (AMEDEI ET AL. 1989). Per approfondimenti sulle tecniche di indagine si veda pag. 21

Controllo della qualità delle malte

Il controllo della qualità delle malte strutturali assume una connotazione strategica per assicurare la conservazione degli edifici storici in area sismica. Nonostante le campagne di campionamento debbano sempre mantenersi sulla soglia del minimo possibile di campioni raccolti, il numero di edifici da tutelare e la variabilità di tipologie di malte da testare produrrebbero comunque un'elevata quantità di campioni da analizzare. Se si immagina di dover operare questa indagine estensivamente su tutti gli edifici tutelati che presentano particolari criticità, soprattutto in fase emergenziale, la realizzazione di tutti i test previsti dai protocolli di indagine normalmente previsti risulta chiaramente impossibile, sia dal punto di vista economico, sia per le tempistiche di risposta rapide che una situazione emergenziale richiede.

Si ricordano in proposito qui di seguito le normative NORMAL (Normalizzazione Materiali Lapidei) e UNI (Ente Nazionale Italiano di Unificazione) di riferimento per la diagnostica applicata allo studio delle malte storiche:

- NORMAL 4/80; Malte antiche: Distribuzione del volume dei pori in funzione del loro diametro.
- NORMAL 7/81; Malte antiche: Assorbimento d'acqua per immersione totale – Capacità di imbibizione.
- NORMAL 8/81; Malte antiche: Analisi delle caratteristiche morfologiche al microscopio elettronico a scansione (SEM).
- NORMAL 12/83; Aggregati artificiali di clasti a matrice legante non argillosa: schema di descrizione.
- NORMAL 15/84; Aggregati artificiali di clasti a matrice legante argillosa: schema di descrizione.
- NORMAL 23/86; Terminologia tecnica: Definizione e Descrizione delle Malte.
- UNI 10924:2001; Malte per elementi costruttivi e decorativi – Classificazione e terminologia.
- UNI 11060:2003; Beni Culturali – Materiali lapidei naturali e artificiali: determinazione della massa volumica e della percentuale di vuoti.
- UNI 11088:2003; Malte storiche e da restauro: Caratterizzazione chimica di una malta, determinazione del contenuto di aggregato siliceo e di alcune specie solubili.

- UNI 11089:2003; Beni Culturali – Malte storiche e da restauro. Stima della composizione chimica di alcune tipologie di malte.
- UNI 11139:2004; Beni Culturali – Malte Storiche – Determinazione del contenuto di calce libera e di magnesia libera.
- UNI 11176:2006; Beni Culturali – Descrizione Petrografica di una malta.
- UNI 11305:2009; Beni Culturali – Malte Storiche – Linee guida per la caratterizzazione mineralogico-petrografica, fisica e chimica delle malte.
- UNI 11140:2004; Beni Culturali – Malte Storiche – Determinazione del contenuto di anidride carbonica.

Occorrerebbe pertanto piuttosto definire un protocollo che consenta di effettuare in breve tempo una caratterizzazione che risulta di per sé non esaustiva ma comunque in grado di indicare la qualità e quindi l'affidabilità delle malte in breve tempo. Si sono quindi selezionate le caratteristiche veramente essenziali per una minima ma rappresentativa conoscenza della malta e una prima valutazione della sua qualità (TAB.2.1.2). Alcune delle caratteristiche sono ispezionabili e registrabili *in situ* in fase di campionamento, altre sono il risultato di una prima indagine di laboratorio eseguita mediante osservazione del campione in microscopia ottica e poche eventuali altre indagini¹⁰¹. Disponendo di queste preliminari ma fondamentali informazioni si può poi caso per caso decidere se e come procedere per ulteriori indagini conoscitive.

Caratterizzazioni in situ in fase di campionamento

- *Resistenza*: Un valore orientativo di resistenza a compressione della malta può essere misurato *in situ* utilizzando uno sclerometro o un penetrometro per malte¹⁰². Il valore minimo della resistenza portante prescritto dalle NTC2018 è di 2,5 MPa. Possono quindi essere accettate come sufficientemente resistenti le malte che alla prova penetrometrica rivelino una stima della loro resistenza uguale o superiore a tale valore. Per valori superiori ai 5 MPa, la malta può essere considerata molto resistente.
- *Adesione al supporto*: Si può qualitativamente, contestualmente alle operazioni di estrazione del campione, fornire una valutazione sull'adesione della malta al suo supporto.

¹⁰¹ Vedi pag. 42.

¹⁰² Per approfondimenti sulle prove in situ di resistenza meccanica delle malte mediante test penetrometrico o sclerometrico si veda pag.52. Si rimanda anche a JURINA 2007.

- *Assenza di prodotti di neoformazione:* I prodotti di neoformazione, in particolar modo le efflorescenze saline, ben riconoscibili mediante un attento esame visivo delle malte in fase di campionamento, non solo denunciano una condizione conservativa non ottimale, ma costituiscono a loro volta un fattore rischio per l'ulteriore degradazione del materiale. La loro assenza denota una condizione conservativa buona. La loro presenza va analizzata controllando anche a seguito dell'estrazione del campione che non si trovino al suo interno in forma di subflorescenze che rendono il quadro conservativo ancora più critico. Le subflorescenze saline sono ben visibili in microscopia ottica. La quantificazione dei sali totali si effettua mediante conduttivimetria, la cromatografia ionica viene utilizzata per l'identificazione delle specie saline presenti¹⁰³.

Caratterizzazioni in laboratorio del legante

- *Assenza di calcinaroli o calcinelli:* I calcinaroli o calcinelli sono grumi di calce viva nell'impasto, ben riconoscibili talvolta anche a occhio nudo, se di dimensioni macroscopiche, a causa della loro tipica forma circolare, del loro colore bianco molto luminoso e della loro consistenza granulosa, talvolta polverosa¹⁰⁴. La loro presenza può dipendere da vari errori nella lavorazione della calce. Una malta priva di calcinelli è sicuramente realizzata mediante l'impiego di un legante di ottima qualità. Una presenza preponderante di queste formazioni nella frazione legante della malta denota una pessima qualità del legante con serie conseguenze sulla resistenza e sulla durezza della malta stessa.
- *Assenza di vuoti:* Ad esclusione della microporosità naturale dei leganti, la presenza di vuoti in forma di cariatature, dovute a fenomeni di degrado, o alla presenza di bolle d'aria nell'impasto formatesi per inaccuratezza nelle fasi di lavorazione, o fessure da ritiro, può rappresentare, come per il caso dei calcinelli, una scarsa qualità del legante¹⁰⁵.

Caratterizzazione in laboratorio dell'aggregato

- *Rapporto legante/aggregato:* Il rapporto legante-aggregato fornisce l'informazione sui dosaggi utilizzati in cantiere per produrre la malta. Una buona malta non deve eccedere in quantità di legante rispetto all'aggregato, nel qual caso si definisce malta grassa, né

¹⁰³ Per una panoramica sui metodi di quantificazione e determinazione delle specie saline nelle murature storiche si rimanda a FASSINA, ARBIZZANI 2003.

¹⁰⁴ In letteratura i calcinelli sono anche indicati con il sinonimo di bottaccioli.

¹⁰⁵ Per approfondimenti sui difetti del legante a base di calce aerea derivanti dalle condizioni di produzione dello stesso si rimanda a VECCHIATTINI 2009.

viceversa, nel qual caso si definisce malta magra. Orientativamente una malta può essere definita grassa quando il rapporto legante aggregato sia maggiore di 1:2, mentre può essere definita magra quando il rapporto legante aggregato sia minore di 1:3. Se il rapporto legante aggregato è compreso tra 1:2 e 1:3 la malta possiede il giusto equilibrio tra le componenti e ciò contribuisce sia in termini di resistenza meccanica che di capacità adesive, almeno interne, cioè tra un granulo e l'altro. La determinazione del rapporto legante/aggregato può avvenire mediante osservazione in sezione lucida o sottile al microscopio ottico. Esistono inoltre metodi di separazione chimica e stima percentuale (in volume o in peso) delle componenti. Procedure di combinazione dei diversi metodi hanno spesso dato interessanti risultati in termini di affidabilità della stima¹⁰⁶.

- *Aggregato ben classato*: La classazione o vagliatura dell'aggregato è la misura della setacciatura dell'aggregato. Una malta dotata di un aggregato ben vagliato presenta dei granuli di dimensioni confrontabili tra loro. Al contrario una malta con un aggregato poco vagliato presenta granuli di dimensioni molto eterogenee (Fig.2.1.11). Questo parametro fornisce informazioni sull'accuratezza della lavorazione della malta in origine. Effettivamente una buona vagliatura dell'aggregato garantisce il giusto grado di ingranamento (a condizione di opportuno rapporto legante/aggregato) tra i singoli clasti che di fatto costituiscono nel loro insieme lo scheletro resistente della malta.
- *Alta sfericità dei clasti*: Un'alta sfericità dei clasti favorisce un comportamento isotropo della malta nei confronti delle sollecitazioni meccaniche (Fig.2.1.12).
- *Angolosità dei clasti*: I clasti angolosi nell'aggregato indicano, in genere, la produzione in cava dello stesso. La caratteristica si contrappone all'arrotondamento, che invece denota la provenienza naturale dell'aggregato eroso dalle sue condizioni di giacitura, quindi sabbia di mare o di fiume. Produrre una malta con un aggregato di cava garantisce l'assenza di componenti chimiche patogene, quali ad esempio i sali solubili, molto presenti nella sabbia di mare. Inoltre, l'angolosità dell'aggregato contribuisce sia a una buona adesione con il legante che al buon grado di ingranamento tra i clasti (Fig.2.1.12).
- *Distribuzione omogenea*: La distribuzione omogenea dei clasti favorisce un comportamento isotropo della malta nei confronti delle sollecitazioni meccaniche

¹⁰⁶ CASADIO ET AL 2005.

TABELLA 2.1.2_REQUISITI MINIMI DI QUALITÀ DELLA MALTA			
	Qualità non rispettata	Qualità parzialmente rispettata	Qualità rispettata
Valore di resistenza	<2,5 MPa	2,5 – 5 MPa	>5MPa
Caratteristiche macroscopiche della malta			
Adesione al supporto	Insufficiente	Sufficiente	Buona
Prodotti di neoformazione	All'interno	In superficie	Assenti
Caratteristiche microscopiche del legante			
% Calcinari	<50%	>50%	Assenti
% Vuoti	<50%	>50%	Assenti
Caratteristiche microscopiche dell'aggregato			
Rapporto legante/aggregato	>1:1	1:1-1:2	1:2-1:3
	<1:4	1:3-1:4	
Classazione	Mal classato	Moderatamente classato	Ben classato
Sfericità	Bassa sfericità	Media sfericità	Alta sfericità
Angolosità	Arrotondato	Sub-angoloso	Angoloso
Distribuzione	Disomogenea	Moderatamente omogenea	Omogenea

TABELLA 2.1.3_CONTROLLO DELLA QUALITÀ MURARIA		
Muratura a vista		
<i>Tecnica di indagine diagnostica</i>	<i>Strumento di indagine e raccolta dati</i>	<i>Applicabilità dell'indagine</i>
Analisi a vista	Scheda Murature GNDT	In emergenza – rilievo del danno
		In fase di messa in sicurezza
Analisi a vista – Metodo IQM	Scheda IQM	In emergenza – rilievo del danno
		In fase di messa in sicurezza
Muratura non a vista – Analisi della tessitura muraria		
<i>Tecnica di indagine diagnostica</i>	<i>Invasività</i>	<i>Applicabilità dell'indagine</i>
Analisi termografica	Non invasiva	In emergenza – rilievo del danno
		In fase di messa in sicurezza
Saggio – tassello intonaco	Invasiva	In fase di messa in sicurezza
Nuclei murari non ispezionabili		
<i>Tecnica di indagine diagnostica</i>	<i>Invasività</i>	<i>Applicabilità dell'indagine</i>
Georadar	Non invasiva	In fase di messa in sicurezza
Tomografia sonora	Non invasiva	In fase di messa in sicurezza
Prove ultrasoniche	Non invasiva	In fase di messa in sicurezza
Carotaggio	Invasiva	In fase di messa in sicurezza
Video-endoscopia	Invasiva	In fase di messa in sicurezza

TABELLA 2.1.4_ CONTROLLO DELLA QUALITÀ DELLE MALTE STRUTTURALI		
Resistenza		
<i>Tecnica di indagine diagnostica</i>	<i>Invasività</i>	<i>Applicabilità dell'indagine</i>
Prova penetrometrica in situ	Non invasiva	In fase di messa in sicurezza
Test di resistenza - laboratorio	Invasiva	In emergenza – rilievo del danno
		In fase di messa in sicurezza
Caratteristiche macroscopiche		
<i>Tecnica di indagine diagnostica</i>	<i>Invasività</i>	<i>Applicabilità dell'indagine</i>
Analisi a vista	Non invasiva	In emergenza – rilievo del danno
		In fase di messa in sicurezza
Caratterizzazione microscopica		
<i>Tecnica di indagine diagnostica</i>	<i>Invasività</i>	<i>Applicabilità dell'indagine</i>
Microscopia ottica – analisi di laboratorio	Invasiva	In emergenza – rilievo del danno
		In fase di messa in sicurezza

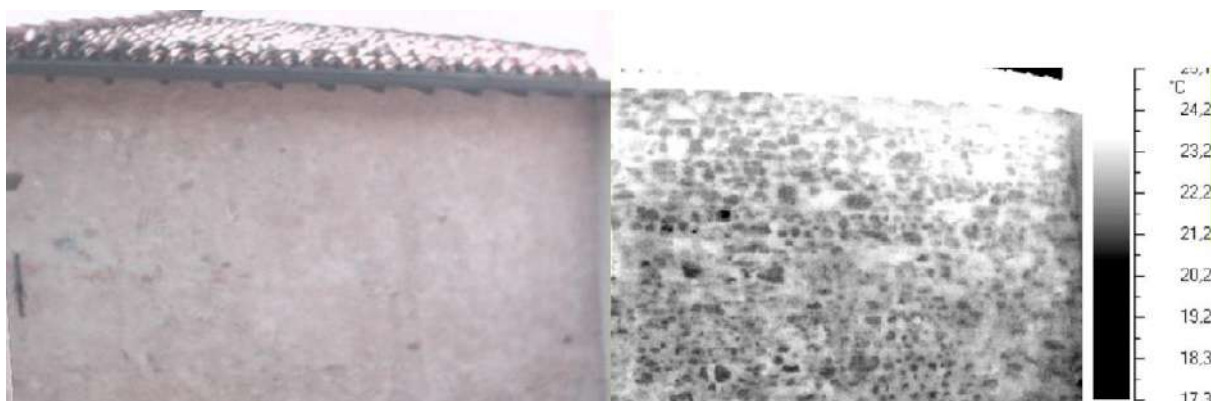


Figura 2.1.1: Immagine fotografica in radiazione visibile e in radiazione IR a confronto di una superficie muraria intonacata (GERALDI, GIZZI, MASINI 2003)

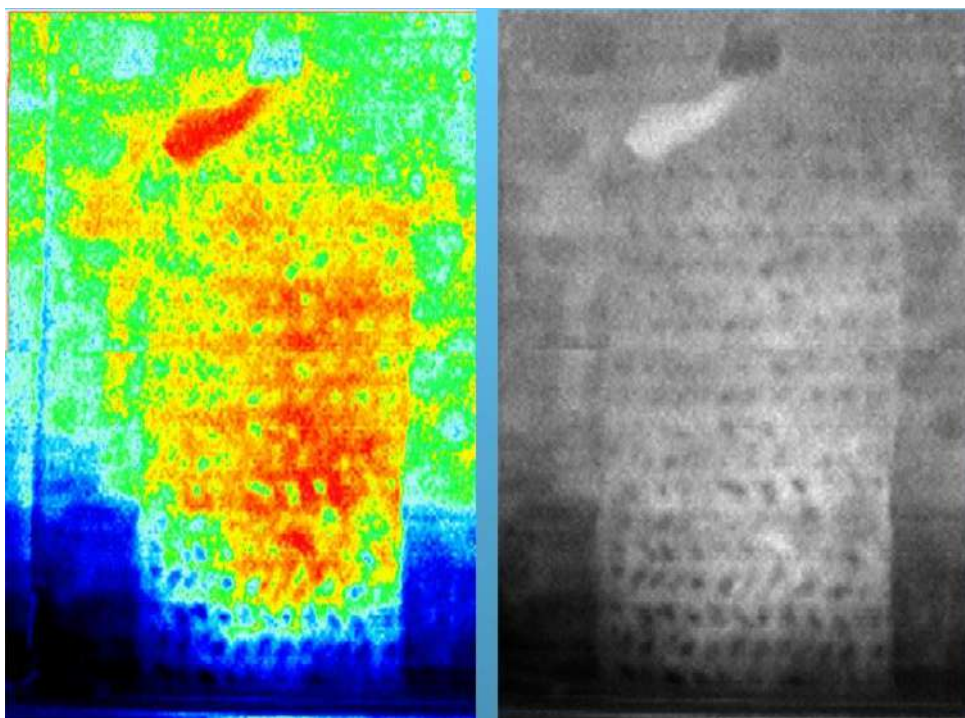


Figura 2.1.2: Immagine termografica in falso colore di un contrafforte intonacato. Elaborazione a colori a sinistra e in scala di grigi a destra. La scala di grigi rende maggiormente leggibile la tessitura muraria, mentre nell'immagine a colori si possono notare aree rosse (più calde) interpretabili come zone di distacco dell'intonaco e aree nero/blu (più fredde) alla base, interpretabili come zone soggette a risalita capillare di umidità dal terreno (GERALDI, GIZZI, MASINI 2003)



Figura 2.1.3: Volta dell'ex refettorio di Villa Litta Modignani a Milano. La termografia IR mette in evidenza la tessitura muraria al di sotto dell'intonaco e il piano d'imposta dei mattoni. Fonte (LUALDI ET AL. 2003)



Figura 2.1.4: chiesa di Santo Stefano di Sessanio (AQ). A sinistra: Immagine termografica rilevata nel marzo 2009 con il sistema IRpano. Si può notare la differenza della tessitura muraria della facciata e dei cantonali. Evidenziato il quadro fessurativo sub superficiale presente nella zona centrale al di sotto della finestra. Al centro: Immagine fotografica acquisita contestualmente alle riprese termografiche con il sistema IRpano, si noti come le criticità evidenziate nell'immagine in falso colore non siano apprezzabili ad occhio nudo. A destra: chiesa di Santo Stefano di Sessanio dopo la scossa di terremoto del 6 Aprile 2009. Il quadro dei dissesti riflette in buona parte le vulnerabilità già evidenziate in termovisione, e dall'analisi storico-costruttiva. Si noti non solo il crollo del nartece e l'espulsione della muratura che presentava già un quadro fessurativo molto ramificato in quella zona, ma anche l'apertura delle lesioni ai lati della facciata che ripercorrono esattamente l'andamento dei due paramenti murari non ammortati (CADELANO ET AL, 2015) .

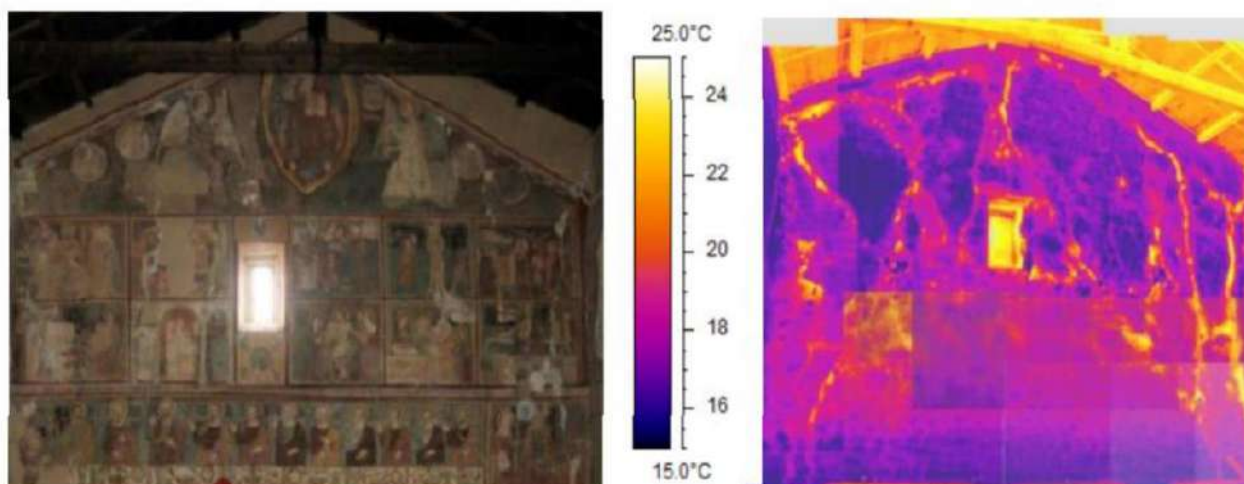


Figura 2.1.5: Immagini fotografica e termografica a confronto della controfacciata della chiesa di Santa Lucia a Rocca di Cambio, rilevate tramite l'utilizzo del sistema IRpano a seguito del sisma del 6 Aprile 2009 (CADELANO ET AL, 2015).

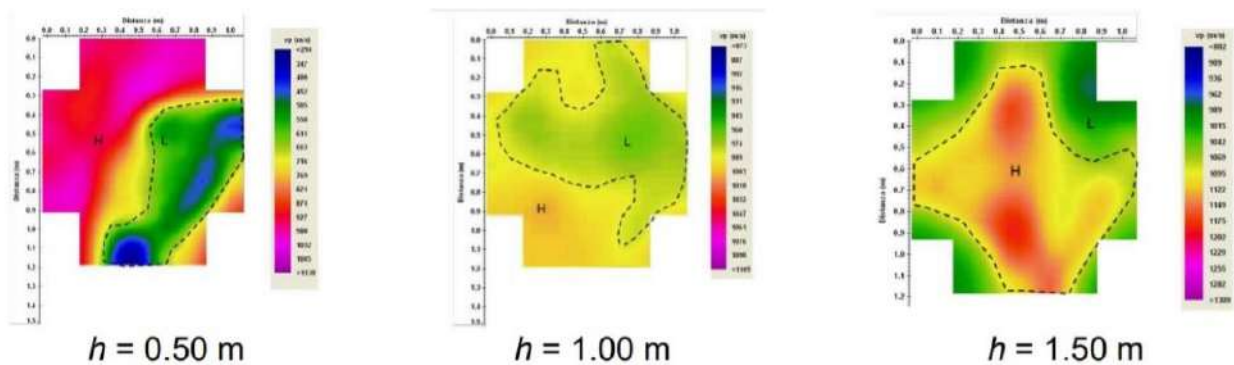


Figura 2.1.6: Sezioni in tomografia sonica di un pilastro a 50 cm, 100 cm e 150 cm da terra. Le zone blu-verdi sono caratterizzate da basse velocità di propagazione delle onde sonore, pertanto meno dense (vuoti, lesioni, materiale degradato), le zone rosso-viola sono caratterizzate da elevate velocità di propagazione delle onde sonore, pertanto più dense (MASINI ET AL. 2012).

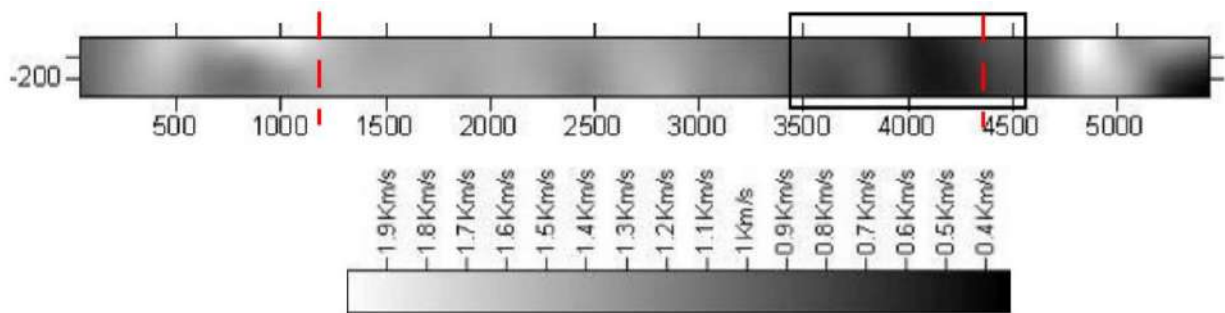


Figura 2.1.7: Tomografia sonica di una trave lignea (sezione longitudinale). Nell'area evidenziata dal rettangolo nero si possono notare basse velocità di propagazione dell'impulso sonico, come da legenda in basso, che denotano un'alterazione spinta (svuotamento, perdita della componente resistente) del materiale ligneo (COLLA 2009)

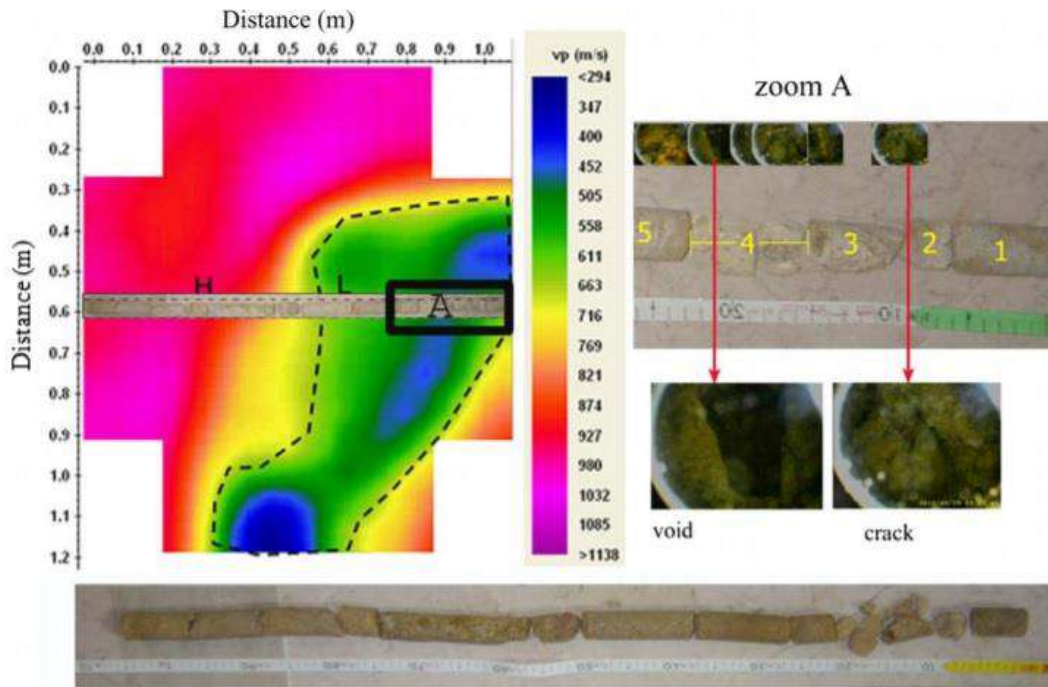


Figura 2.1.8: Cattedrale di Tricarico, tomogramma sonico di un pilastro alla quota di 40 cm dalla base. In sovrapposizione l'immagine della carota estratta alla stessa quota, riportata anche in basso. In alto a destra si riposta nell'area di zoom denominata A sia il tratto di carota estratta che alcune immagini endoscopiche che mettono in evidenza la presenza di lesioni e vuoti in quell'area. Nel tomogramma si può notare nella stessa area la significativa diminuzione della velocità di propagazione delle onde sonore, rappresentata in blu, che si estende in diagonale su un'estesa porzione della sezione (LEUCCI ET AL 2011).

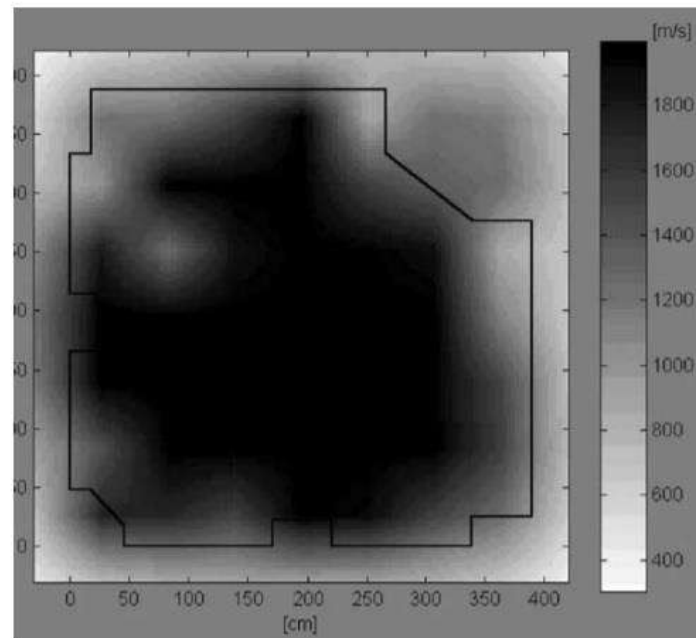


Figura 2.1.9: Tomogramma della sezione di un pilastro della chiesa di S. Nicolò l'Arena a Catania. Si noti come la zona centrale sia caratterizzata da velocità di propagazione delle onde sonore molto alta rispetto alla zona più esterna. La risposta è dovuta alla maggiore densità del nucleo centrale del pilastro realizzato in blocchi di pietra vulcanica. La sezione del pilastro è stata poi successivamente ampliata tramite incoccio realizzato con malta di calce aerea, pezzame di pietra vulcanica e frammenti di tegole e laterizi (BINDA ET AL. 2003).

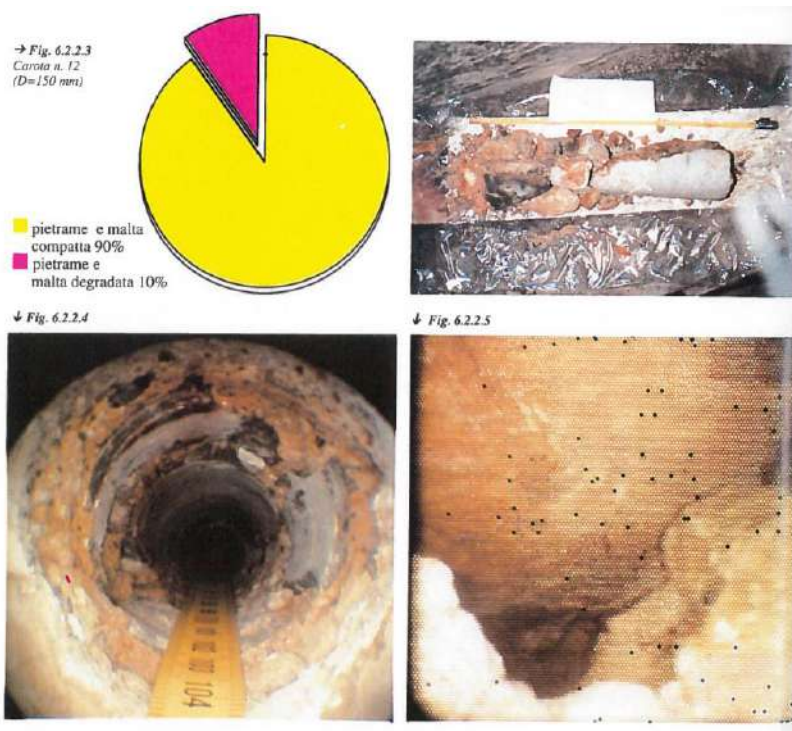


Figura 2.1.10: Tavola estratta da AMEDEI ET AL. 1989, in cui si mostra il processo di combinazione tra il carotaggio e l'indagine endoscopica.

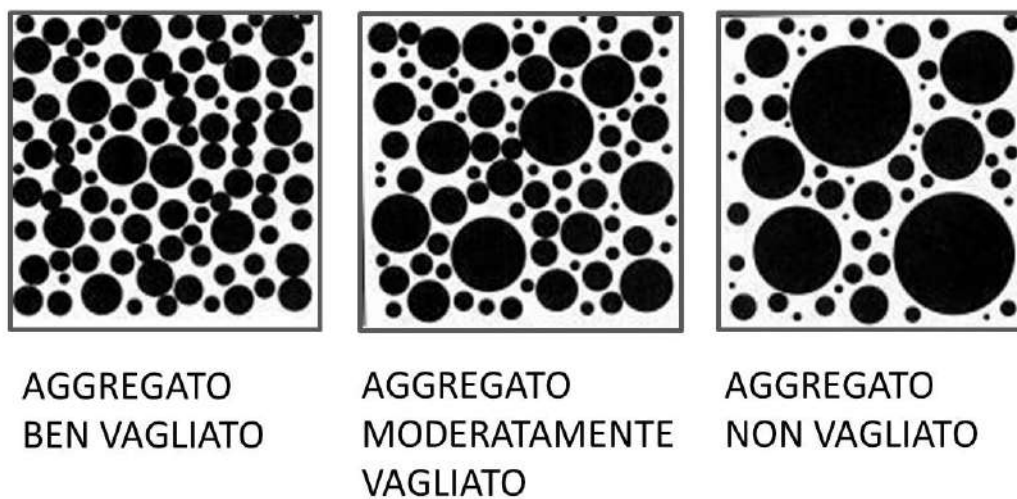


Figura 2.1.11: Schema grafico di rappresentazione di vari tipi di vagliatura dell'aggregato in una malta.

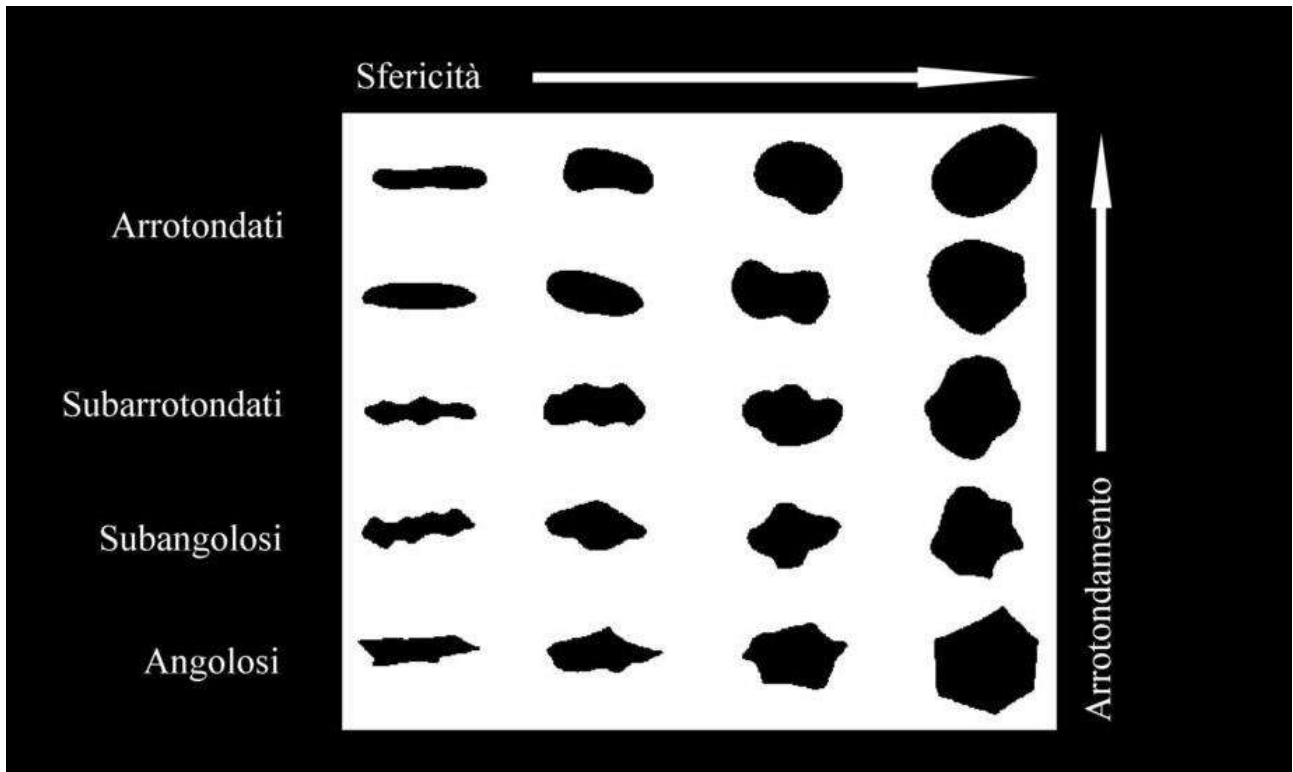


Figura 2.1.12: Schema grafico delle caratteristiche morfologiche dei grani dell'aggregato di una malta.

**SCHEDA PER IL RILIEVO DELLA TIPOLOGIA MURARIA' ELABORATA DAL GNDT
E SPERIMENTATA NEL SISMA DEL MOLISE DEL 2002**



Presidente Commissario Delegato
per le attività post-sisma



SISMA MOLISE 2002 : SCHEDA MURATURE

Comune	Denominazione bene	Macroelemento

1 - MATERIALE					
1.1.1	arenarie	<input type="checkbox"/>	1.1.6	mattoni pieni crudi	<input type="checkbox"/>
1.1.2	calcare	<input type="checkbox"/>	1.1.7	mattoni semipieni cotti	<input type="checkbox"/>
1.1.3	tufo	<input type="checkbox"/>	1.1.8	blocchi in laterizio forati	<input type="checkbox"/>
1.1.4	calcarenite	<input type="checkbox"/>	1.1.9	blocchi in calcestruzzo semipieni	<input type="checkbox"/>
1.1.5	mattoni pieni cotti	<input type="checkbox"/>	1.1.10		<input type="checkbox"/>

1.2 - LAVORAZIONE				
<input type="checkbox"/> 1.2.1 - assente	<input type="checkbox"/> 1.2.2 appena accennata	<input type="checkbox"/> 1.2.3 - spigoli vivi e facce non lavorate	<input type="checkbox"/> 1.2.4 - ciottoli di fiume	
				
<input type="checkbox"/> 1.2.5 - ciottoli e blocchi erratici di varia natura	<input type="checkbox"/> 1.2.6 - lastre	<input type="checkbox"/> 1.2.7 - conci sbozzati	<input type="checkbox"/> 1.2.8 - bugnati	<input type="checkbox"/> 1.2.9 - conci squadrati
				

1.3	DIMENSIONE DIAGONALE	1.4	STATO CONSERVAZIONE
1.3.1	piccole : minori 15 cm	<input type="checkbox"/>	1.4.1 pessimo <input type="checkbox"/>
1.3.2	medie : 15-25 cm	<input type="checkbox"/>	1.4.2 discreto <input type="checkbox"/>
1.3.3	grandi : > 25 cm	<input type="checkbox"/>	1.4.3 buono <input type="checkbox"/>

2.1	MALTA - TIPO	2.2	MALTA - STATO CONSERVAZIONE	2.3	MALTA - FUNZIONE
2.1.1	calce aerea <input type="checkbox"/>	2.2.1	incoerente <input type="checkbox"/>	2.3.1	allettamento <input type="checkbox"/>
2.1.2	calce idraulica <input type="checkbox"/>	2.2.2	friabile <input type="checkbox"/>	2.3.2	riempimento <input type="checkbox"/>
2.1.3	cementizia <input type="checkbox"/>	2.2.3	tenace <input type="checkbox"/>	2.3.3	stiliatura <input type="checkbox"/>




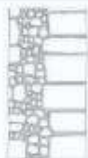
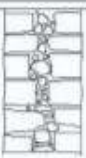

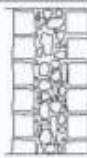
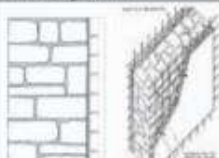
3.1 - POSA IN OPERA - TESSITURA		
		
<input type="checkbox"/> 3.1.1 - disordinata orizzontalità non rispettata	<input type="checkbox"/> 3.1.2 - irregolare orizzontalità parzialmente rispettate	<input type="checkbox"/> 3.1.3 - regolare - orizzontalità rispettata

3.2 - POSA IN OPERA - DISPOSIZIONE			
			
<input type="checkbox"/> 3.2.1 - casuale	<input type="checkbox"/> 3.2.2 - orizzontale verticale	<input type="checkbox"/> 3.2.3 - orizzontale	<input type="checkbox"/> 3.2.4 - a lisca di pesce

3.4 - POSA IN OPERA - ZEPPE E SCAGLIE			
			
<input type="checkbox"/> 3.4.1 - assenti	<input type="checkbox"/> 3.4.2 - pietra	<input type="checkbox"/> 3.4.3 - mattoni	<input type="checkbox"/> 3.4.4 - ciottoli

3.5 - RICORSI E LISTATURA				
				
<input type="checkbox"/> 3.5.1 - assenti	<input type="checkbox"/> 3.5.2 - in mattoni	<input type="checkbox"/> 3.5.3 - in pietra	<input type="checkbox"/> 3.5.4 - in pietra e mattoni	<input type="checkbox"/> 3.5.5 - in calcestruzzo

3.6 - POSA IN OPERA - SFALSAMENTO GIUNTI		
		
<input type="checkbox"/> 3.6.1 - rispettato - zona centrale	<input type="checkbox"/> 3.6.2 - parzialmente rispettato fra la zona centrale e il bordo	<input type="checkbox"/> 3.6.3 - non rispettato - allineati su più Ricorsi

4.1 - SEZIONE - COSTITUZIONE			
			
<input type="checkbox"/> 4.1.1 - paramento unico	<input type="checkbox"/> 4.1.2 - due paramenti ammorsati	<input type="checkbox"/> 4.1.3 - due paramenti parzialmente ammorsati	<input type="checkbox"/> 4.1.4 - due paramenti di diversa rigidezza
			
<input type="checkbox"/> 4.1.5 - due paramenti accostati	<input type="checkbox"/> 4.1.6 - a sacco (incoerente)	<input type="checkbox"/> 4.1.7 - a sacco (coerente)	<input type="checkbox"/> 4.1.8 - paramento aggiunto

4.2	SEZIONE SPESSORE	4.3	SEZIONE - VUOTI	4.4	SEZIONE - CONSISTENZA	
4.2.1	piccolo spessore	<input type="checkbox"/>	4.4.1 assenti	<input type="checkbox"/>	4.4.1 incoerente	<input type="checkbox"/>
4.2.2	spessore significativo	<input type="checkbox"/>	4.4.2 presenti	<input type="checkbox"/>	4.4.2 coerente	<input type="checkbox"/>
4.2.3	spessore consistente	<input type="checkbox"/>	4.4.3 localizzati	<input type="checkbox"/>		

4.5 - SPESSORE (cm)	4.5.1 - totale _____	4.5.2 - paramento esterno _____	4.5.3 - paramento interno _____
---------------------	----------------------	---------------------------------	---------------------------------

4.5 - PRESENZA DIATONI <input type="checkbox"/>		
4.6 - SEZIONE TRASVERSALE		
		
<input type="checkbox"/> 4.6.1 - presenti - 1 ogni 3 filari orizzontali, 1 ogni 3 elementi	<input type="checkbox"/> 4.6.2 - parzialmente presenti - verticali 1 ogni 3 filari, orizzontali 1 ogni 3 elementi	<input type="checkbox"/> 4.6.3 - non presenti - presenza sporadica

5.1 - INTONACO			
<input type="checkbox"/> 5.1.1 - muretura a faccia vista	<input type="checkbox"/> 5.1.2 - mancante	<input type="checkbox"/> 5.1.3 - in parte mancante	<input type="checkbox"/> 5.1.4 - presente

5.2 - INTONACO - CONSERVAZIONE		
<input type="checkbox"/> 5.2.1 - degradato	<input type="checkbox"/> 5.2.2 - fessurato	<input type="checkbox"/> 5.2.3 - buono

6.1 - COLLEGAMENTI ANGOLATE		
		
<input type="checkbox"/> 6.1.1 - ammassamento scadente	<input type="checkbox"/> 6.1.2 - collegamenti irregolari	<input type="checkbox"/> 6.1.3 - alternanza regolare

6.2 - COLLEGAMENTI ELEMENTI COSTITUTIVI ANGOLATE			
<input type="checkbox"/> 6.2.1 - alternanza regolare	<input type="checkbox"/> 6.2.2 - analoghi alla muratura	<input type="checkbox"/> 6.2.3 - dimensione maggiore	<input type="checkbox"/> 6.2.4 - a conci squadrate

6.3 - COLLEGAMENTI - TIPOLOGIA MARTELLI		
<input type="checkbox"/> 6.3.1 - assenza collegamenti	<input type="checkbox"/> 6.3.2 - ammassamento scadente	<input type="checkbox"/> 6.3.3 - collegamenti muri spina

6.4 - COLLEGAMENTI - MURI SPINA		
<input type="checkbox"/> 6.4.1 - differente	<input type="checkbox"/> 6.3.2 - non differente	<input type="checkbox"/> 6.3.3 - frequenza presenza di catene

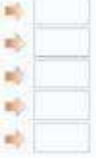
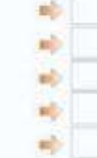
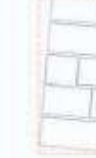
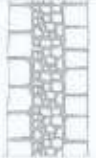
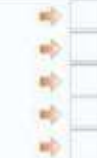






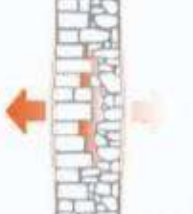
6.5 - COLLEGAMENTI - MARTELLI	
<input type="checkbox"/> 6.5.1 - frequente	<input type="checkbox"/> 6.3.2 - non frequente

6.6 - COLLEGAMENTI - CATENE	
<input type="checkbox"/> 6.6.1 - frequente	<input type="checkbox"/> 6.6.2 - non frequente

7.1 - INTERVENTI ALLE MURATURE			
<input type="checkbox"/> 7.1.1 - nessuno	<input type="checkbox"/> 7.1.2 - scuci cucì in mattoni	<input type="checkbox"/> 7.1.3 - scuci cucì in pietra	<input type="checkbox"/> 7.1.4 - stilitura giunti
<input type="checkbox"/> 7.1.5 - iniezioni malta	<input type="checkbox"/> 7.1.6 - intonaco armato su 1 lato	<input type="checkbox"/> 7.1.7 - intonaco armato su 2 lati	<input type="checkbox"/> 7.1.8 - diafani artificiali

7.2 - INTERVENTI AI COLLEGAMENTI			
<input type="checkbox"/> 7.2.1 - nessuno	<input type="checkbox"/> 7.2.2 - tamponature aperture	<input type="checkbox"/> 7.2.3 - collegamento travi	<input type="checkbox"/> 7.2.4 - catene
<input type="checkbox"/> 7.2.5 - cuciture armate	<input type="checkbox"/> 7.2.6 - cordoli in muratura	<input type="checkbox"/> 7.2.7 - cordoli in c.a.	<input type="checkbox"/> 7.2.8 - orizzontamenti rigidi

MECCANISMI INTERNI DELLA MURATURA

<p>□ - M1 - Fuori del piano: comportamento assimilabile ad un blocco rigido (sezione costituita da paramento unico o due paramenti ammorsati)</p>			
<p>□ - M2 - Fuori del piano: separazione dei paramenti e attivazione di meccanismi globali dei paramenti (sezione costituita da due paramenti accostati o debolmente ammorsati e priva di connessioni trasversali)</p>			
<p>□ - M3 - Fuori del piano: separazione dei paramenti murari con disgregazione del paramento esterno (sezione costituita da due paramenti di diversa rigidezza accostati o debolmente ammorsati)</p>			
<p>□ - M4 - Nel piano: lesioni localizzate inclinate in funzione dell'angolo di attrito interno della muratura (muratura con malta aerea friabile, sfalsamento assente dei giunti e orizzontamenti deformabili)</p>			
<p>□ - M5 - Nel piano: lesioni diffuse inclinate lungo i giunti di malta (muratura con malta di buona qualità, tessitura orizzontale con giunti sfalsati e orizzontamenti rigidi o semirigidi)</p>			
<p>□ - M6 - Azione nel piano: separazione dei paramenti, espulsione di materiale, lesioni inclinate e verticali (sezione costituita da due paramenti di diversa rigidezza accostati o debolmente ammorsati)</p>			

DISEGNI (ANGOLATE, SEZIONI ecc.....)

SCHEDA SINTETICA PER VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA (I.Q.M.)

	Azioni verticali			Azioni fuori piano			Azioni nel piano		
	NR	PR	R	NR	PR	R	NR	PR	R
OR. Orizzontalità dei filari	0	1	2	0	1	2	0	0.5	1
P.D. Presenza dei diatoni / ingranamento trasversale	0	1	1	0	1.5	3	0	1	2
F.EL. Forma degli elementi resistenti	0	1.5	3	0	1	2	0	1	2
S.G. Sfalsamento dei giunti verticali / ingranamento nel piano	0	0.5	1	0	0.5	1	0	1	2
D.EL. Dimensione degli elementi resistenti	0	0.5	1	0	0.5	1	0	0.5	1
MA. Qualità della malta / efficace contatto fra elementi / zeppe	0	0.5	2	0	0.5	1	0	1	2
RE.EL. Resistenza degli elementi	0.3	0.7	1	0.5	0.7	1	0.3	0.7	1
Indice IQM									

$$IQM = RE.EL. \times (OR. + P.D. + F.EL. + S.G. + D.EL. + MA.)$$

IQM vert.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
f_M min-	117	146	183	229	289	358	447	559	698	873
med-max	161	198	245	301	372	457	563	693	854	1053
(N/cm ²)	206	251	307	374	456	556	679	828	1010	1233
E min-	652	776	924	1099	1307	1556	1851	2202	2620	3118
med-max	809	957	1132	1339	1583	1872	2214	2618	3097	3663
(N/mm ²)	967	1139	1341	1579	1859	2189	2578	3035	3574	4208

IQM nel piano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
τ_0 min-	2,3	2,9	3,6	4,5	5,6	6,9	8,6	10,7	13,3	16,5
med-max	3,0	3,7	4,55	5,6	6,9	8,45	10,4	12,8	15,75	19,35
(N/cm ²)	3,7	4,5	5,5	6,7	8,2	10,0	12,2	14,9	18,2	22,2

IQM fuori piano	$0 \leq IQM \leq 4$	$4 < IQM < 7$	$7 \leq IQM \leq 10$
Ipotesi nelle verifiche fuori piano	Muratura caotica. Verifica non rispettata	Ipotesi di paramenti non ben ingranati.	Ipotesi di muratura monolitica.




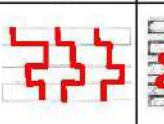
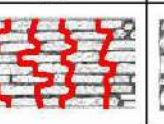
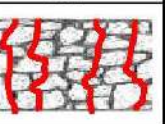









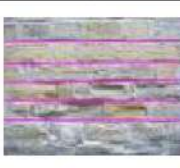


Forma degli elementi resistenti (F.EL.)	
NR	Prevalenza di elementi di forma irregolare o arrotondata oppure ciottoli su entrambe le facce della parete.
PR	Compresenza di elementi irregolari o ciottoli e blocchi di forma squadrata o mattoni. Pareti con una faccia di blocchi di forma regolare o mattoni e l'altra faccia di ciottoli od elementi di forma irregolare. Elementi arrotondati o irregolari ma con interstizi riempiti di zeppe ben inserite.
R	Prevalenza di elementi di forma squadrata o sbazzata oppure mattoni o laterizi di forma parallelepipeda su entrambe le facce della parete.

Presenza diatoni / ingranamento trasversale (P.D.)			Orizzontalità dei filari (OR.)
	Sezione muraria visibile	Sezione muraria non visibile (osservazione facce parete ed esecuzione di saggi interni)	
NR	LMT inferiore a 125 cm. Pietre di piccole dimensioni qualunque sia il valore di LMT.	Pietre piccole rispetto allo spessore del muro; assenza di pietre palesemente disposte in senso trasversale alla parete ("di testa").	NR I tratti orizzontali sono interrotti o con evidenti sfalsamenti sull'intera facciata muraria.
PR	LMT compresa fra 155 cm e 125 cm	Paramento ben tessuto ed ordinato almeno su una faccia; alcune pietre sono disposte "di testa"; spessore del muro non eccessivo rispetto alle dimensioni delle pietre.	PR Situazioni intermedie fra il rispetto e il non rispetto, compreso il caso di filari orizzontali solo su una faccia della parete.
R	LMT maggiore di 155 cm	Paramento ben tessuto; blocchi o pietre di dimensione paragonabile a quella dello spessore della parete; presenza sistematica di pietre disposte "di testa".	R Filari orizzontali su gran parte della parete, senza presentare interruzioni di continuità e su entrambe le facce della parete. Murature listate con listature a interasse inferiore a 60 cm.

Resistenza elementi (RE.EL.)		Dimensione degli elementi (D.EL.)	
NR	Elementi degradati (> 50% del totale degli elementi). Elementi laterizi con percentuale di foratura > 70%. Mattoni in fango o argilla non cotta.	NR	Prevalenza di elementi con la loro dimensione maggiore sotto i 20 cm. Parete di soli diatoni in mattoni pieni.
PR	Elementi della muratura degradati (~ fra 10% e 50% del totale degli elementi). Elementi laterizi con foratura fra 70% e 45%. Elementi in tufo tenero (calcarenite).	PR	Prevalenza di elementi con la loro dimensione maggiore fra 20 e 40 cm. Compresenza di elementi di dimensione variabile.
R	Pietre non degradate o poco degradate. Muratura con pochi elementi degradati (< 10%). Mattoni pieni cotti. Elementi di tufo duro (vulcanico). Elementi laterizi con foratura < 45%. Blocchi in calcestruzzo (anche forati).	R	Prevalenza di elementi con la loro dimensione maggiore sopra i 40 cm.

Sfalsamento giunti verticali / Ingranamento nel piano (S.G.)		
	Metodo quantitativo	Metodo qualitativo
NR	Parete a paramento unico: LMT < 140. Parete a doppio paramento: LMT < 140 su una faccia e LMT < 160 sull'altra faccia. Parete di soli diatoni di mattoni pieni, qualunque sia il valore di LMT. Parete con pietre di piccole dimensioni qualunque sia il valore di LMT. Evidente assenza d'ingranamento su una o più linee verticali della parete.	Giunti verticali allineati. Giunti allineati verticalmente su due o più elementi in ampie porzioni della parete. Parete di soli diatoni di mattoni pieni, anche con giunti verticali sfalsati. Evidente assenza d'ingranamento su una o più linee verticali della parete.
PR	Parete a paramento unico: LMT fra 140 e 160. Parete a doppio paramento: a) entrambi i paramenti con LMT fra 140 e 160. b) LMT rispettato su una faccia e non rispettato sull'altra faccia. c) LMT rispettato su una faccia e parzialmente rispettato sull'altra faccia.	Giunto verticale in posizione intermedia tra zona centrale dell'elemento inferiore e il suo bordo.
R	Parete a paramento unico: LMT > 160 Parete a doppio paramento: LMT > 160 su entrambe le facce.	Giunti verticali in corrispondenza della zona centrale dell'elemento inferiore (escluso il caso di parete in mattoni pieni disposti solo a diatoni).

Qualità della malta / efficace contatto fra elementi / zeppe (MA.)	
NR	Malta scadente o degradata e polverulenta e del tutto priva di coesione. Malta assente (escluso caso previsto sotto in "R"). Giunti di malta di dimensioni eccessive, paragonabili a quelle degli elementi se la malta non è di ottima qualità. Muratura di elementi porosi (es. tufo) con scarsa aderenza fra la malta e gli stessi elementi.
PR	Malta di qualità intermedia, con giunti non eccessivamente erosi. Murature con elementi irregolari e malta degradata ma con zeppe efficacemente inserite negli spazi fra elementi.
R	Malta in buono stato e ben conservata, con giunti di dimensione non eccessiva rispetto alle pietre o ai mattoni o con giunti ampi e malta di ottima qualità. Muratura con grandi elementi squadrati e priva di malta o con strato di malta sottilissimo. In tal caso si intende "rispettato" il requisito di un efficace contatto fra le pietre.

Forma degli elementi resistenti (F.EL.)			Sfalsam. giunti vert. / Ingranam. nel piano (S.G.)		
R	PR	NR	R	PR	NR
					
Malta / Contatto fra elementi / zeppe (MA.)			Dimensione degli elementi (D.EL.)		
R	PR	NR	R	PR	NR
					
Diatoni / Ingranam. trasvers. (P.D.)			Orizzontalità dei filari (OR.)		
R	PR	NR	R	PR	NR
					

2.1.2.2 Diagnostica e meccanismi di collasso

Come già detto nei paragrafi 2.1.1.1 e 2.1.1.2, i meccanismi vengono individuati in funzione della sola presenza dell'elemento soggetto al tipo di cinematismo, anche nel caso in cui non siano registrati dei danni. Effettivamente, in assenza di danno si attribuisce il punteggio zero per il tipo di cinematismo considerato. In ogni caso, sulla scheda di sopralluogo rimane in questo modo documentata la potenziale attivazione del meccanismo. Ciò consente di porre l'attenzione su determinate vulnerabilità dell'edificio, di cui tener conto in monitoraggi successivi, interventi di messa in sicurezza e di restauro. Ogni meccanismo di collasso è impedito, o perlomeno inibito, dalla presenza di specifici presidi antisismici attivi: qualità muraria, catene, cordoli e adeguato dimensionamento degli spessori murari e dei pilastri. Di contro, l'attivazione di un determinato meccanismo può essere favorita da specifiche caratteristiche associate al macroelemento che lo rendono vulnerabile¹⁰⁷. Non sempre i presidi antisismici o i fattori di vulnerabilità sono visibili. Sulle pareti intonacate, per esempio, non è possibile valutare a vista la qualità muraria come anche la disposizione di cordoli o di tiranti, né tantomeno le discontinuità costruttive o la presenza aperture tamponate. I sottotetti, soprattutto in emergenza sismica, possono non essere accessibili in condizioni di sicurezza. I presidi antisismici adottati possono per qualche motivo non essere più efficaci. La resistenza delle strutture può essere compromessa da condizioni di degrado dei materiali. In risposta a queste problematiche la diagnostica può fornire dati utili, in fase di sopralluogo o di cantiere per la messa in sicurezza. Si propongono di seguito delle linee guida di applicazione di tecniche diagnostiche utili alla verifica della presenza di presidi antisismici o di condizioni di vulnerabilità in funzione di raggruppamenti di meccanismi di collasso delle chiese e dei palazzi. Tali raggruppamenti sono stati formati per similitudine dei meccanismi di collasso e per presidi antisismici e indicatori di vulnerabilità comuni. Fermo restando le procedure di controllo della qualità costruttiva già esposte nel precedente paragrafo, che hanno una validità generale ma che vengono comunque riproposte perché particolarmente importanti in riferimento ad alcuni gruppi di meccanismi, si vanno a individuare poche ma efficaci indagini diagnostiche. Le tecniche proposte non hanno validità assoluta e possono essere sostituite da altre che diano risposte analoghe a quelle cercate, ma sono state selezionate in base alla loro facilità di applicazione in condizioni emergenziali, relativamente alla semplicità di esecuzione delle prove e alla loro versatilità, così da coprire con poca strumentazione il maggior numero di indagini necessarie.

¹⁰⁷ Una buona sintesi dei presidi antisismici e degli indicatori di vulnerabilità per ognuno dei 28 meccanismi di collasso delle chiese è fornita nell'Allegato C "Modello per la valutazione della vulnerabilità sismica delle chiese" del DPCM del 09/02/11 "Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al DM 14/01/2008".

LINEE GUIDA PER L'APPLICAZIONE DELLE TECNICHE DIAGNOSTICHE IN PRESENZA DI MECCANISMI DI COLLASSO

➤ Gruppo 1: meccanismi di ribaltamento (TAB.2.1.5)

I meccanismi di ribaltamento delle chiese sono codificati come (Scheda A-DC):

- M1 Ribaltamento facciata
- M10 Ribaltamento delle pareti di estremità del transetto
- M22 Ribaltamento delle cappelle

I meccanismi di ribaltamento dei palazzi sono codificati come (Scheda B-DP):

- M1 Ribaltamento delle pareti
- M4 Ribaltamento del cantonale

I meccanismi di ribaltamento sono impediti da presidi antisismici quali sistemi di incatenamento/contenimento, a seconda dei casi, non sempre visibili perché inserite all'interno della muratura o perché nascosti da strati di intonaco. Se sufficientemente superficiali, tali presidi, possono essere individuati in termovisione, altrimenti con misure pacometriche si possono individuare elementi metallici interni alle murature. Necessari in ogni caso sono i controlli della qualità muraria già esposti nel precedente paragrafo, in quanto una buona condizione costruttiva e conservativa delle murature è un importante parametro in gioco nell'inibizione o nel contenimento dei meccanismi di ribaltamento. Le aperture, soprattutto se ampie, costituiscono nei confronti dei meccanismi di ribaltamento un indice di vulnerabilità considerevole. Particolarmente insidiose possono essere quindi le aperture tamponate non leggibili, che strutturalmente fungono da aperture vere e proprie. Anche in questo caso una mirata indagine termografica può chiarire la lettura delle aperture tamponate e favorire una mappatura delle stesse al fine di individuare quelle più prossime ai macroelementi soggetti ai meccanismi di ribaltamento.

➤ Gruppo 2: meccanismi nella sommità delle pareti (TAB.2.1.6)

I meccanismi nella sommità delle pareti delle chiese sono codificati come (Scheda A-DC):

- M2 Meccanismi nella sommità della facciata

I meccanismi nella sommità delle pareti dei palazzi sono codificati come (Scheda B-DP):

- M3 Rottura a flessione delle pareti
- M17 Ribaltamento delle fasce sottotetto o del timpano

I tre meccanismi sono accomunati dalla stretta e necessaria relazione, affinché non si attivino, con gli elementi della copertura. In genere è possibile verificare a vista i collegamenti tra parete e copertura, ma laddove non ci si possa avvicinare in emergenza può essere utile un'ispezione con drone¹⁰⁸. La presenza di cordoli, purché leggeri, impedisce l'attivarsi di meccanismi in sommità. In presenza di pareti intonacate la discontinuità dovuta all'inserimento di un cordolo dovrebbe essere ben identificabile in termovisione. Le aperture anche in questi casi sono un elemento di vulnerabilità. Nelle chiese in particolare può essere frequente la tamponatura di un'apertura in sommità della facciata (si pensi a grandi rosoni o finestroni) non più visibile, ma leggibile in termovisione.

➤ Gruppo 3: meccanismi nel piano delle pareti (TAB.2.1.7)

I meccanismi nella sommità delle pareti delle chiese sono codificati come (Scheda A-DC):

- M3 Meccanismi nel piano della facciata

I meccanismi nel piano delle pareti sono impediti dalla presenza di catene, non sempre visibili, ma individuabili mediante termovisione o misure pacometriche. Le aperture anche in questi casi sono un elemento di vulnerabilità.

- Gruppo 4: Meccanismi nartece, porticati e logge (TAB.2.1.8)

I meccanismi nel protiro o nartece delle chiese sono codificati come (Scheda A-DC):

- M4 Protiro e Nartece

I meccanismi nei porticati o nelle logge dei palazzi sono codificati come (Scheda B-DP):

- M9 Danni a porticati e logge

Questi elementi sia nelle chiese che nei palazzi presentano spesso archi che, se non presidiati da catene efficaci possono danneggiarsi in occasione di un sisma. In questi casi le catene sono ben visibili e la verifica più opportuna è quella del loro livello di tensionamento laddove vi fossero dubbi sull'effettivo contributo strutturale¹⁰⁹. Altrettanto opportuno è il controllo delle condizioni di colonne e pilastri. Sulle tecniche diagnostiche per l'indagine sulle condizioni interne di questi elementi si è già diffusamente parlato nel paragrafo precedente.

- Gruppo 5: Meccanismi aula e archi trionfali (TAB. 2.1.9)

I meccanismi che coinvolgono l'aula e gli archi trionfali sono codificati come (Scheda A-DC):

- M5 Risposta trasversale dell'aula

¹⁰⁸ Sull'uso dei droni in emergenza sismica è dedicato il paragrafo 2.3.1 della tesi.

¹⁰⁹ Si rimanda a GARZIERA, COLLINI 2009 sulle prove di tensionamento delle catene della navata centrale del Duomo di Parma.

- M13 Archi trionfali

La scelta di associare i due meccanismi nello stesso gruppo è stata determinata da due fattori principali: entrambi i meccanismi descrivono una risposta trasversale rispetto all'elemento "aula" della chiesa. L'arco trionfale è in continuità con gli elementi dell'aula e ne determina una sorta di piano di separazione con lo spazio absidale. Peraltro, entrambi si attivano facilmente in assenza o in caso di malfunzionamento delle catene trasversali. Pertanto, anche in questo caso, come già indicato per i meccanismi del gruppo 4, può essere opportuno un esame analitico dello stato di tensionamento delle catene metalliche. Si ricorda che, soprattutto per gli archi trionfali, molto spesso erano presenti catene lignee in seguito rimosse per esigenze sia estetiche che liturgiche¹¹⁰. In presenza di catene lignee le condizioni conservative del materiale possono essere testate mediante analisi resistografica, misure del contenuto di umidità e tomografia sonica per la verifica delle condizioni interne della trave¹¹¹.

➤ Gruppo 6: Meccanismi di taglio nelle pareti (TAB. 2.1.10)

I meccanismi di taglio nelle pareti delle chiese sono codificati come (Scheda A-DC):

- M6 Meccanismi di taglio nelle pareti laterali
- M11 Meccanismi di taglio nelle pareti del transetto
- M17 Meccanismi di taglio nel presbiterio e nell'abside
- M23 Meccanismi di taglio nelle pareti delle cappelle

I meccanismi nei porticati o nelle logge dei palazzi sono codificati come (Scheda B-DP):

- M2 Instabilità verticale delle pareti
- M5 Taglio nelle pareti esterne: maschi
- M6 Taglio nelle pareti esterne: fasce
- M7 Taglio nelle pareti interne

In presenza di una muratura di buona qualità i meccanismi di taglio si manifestano mediante le tipiche lesioni a X orientate a circa 45° e ben localizzate. Se la muratura è di scadente qualità le sollecitazioni a taglio producono lesioni sub-orizzontali con numerose ramificazioni che possono provocare un progressivo sgretolamento della muratura stessa. È quindi sempre opportuno eseguire i controlli della qualità muraria già illustrati nel precedente paragrafo. La distribuzione delle lesioni a taglio è fortemente condizionata dalla distribuzione ed entità delle bucaure. Anche in questi casi è pertanto importante verificare la presenza di aperture tamponate con l'analisi in termovisione. La presenza di

¹¹⁰ BASSOLI, PERTOT 2017

¹¹¹ Per approfondimenti sulle tecniche diagnostiche per i materiali lignei si rimanda a MEROTTO 2017.

cordoli non visibili, verificabile in termovisione, può essere sia un presidio antisismico, se realizzati in materiale leggero che un indicatore di vulnerabilità se realizzati in c.a.

➤ Gruppo 7: Meccanismi colonnato (TAB.2.1.11)

I meccanismi del colonnato delle chiese sono codificati come (Scheda A-DC):

- M7 Risposta longitudinale del colonnato

Fortemente influenzata dalla direzione delle onde sismiche, la risposta longitudinale del colonnato delle chiese dipende da stabilità e resistenza delle colonne. Si rimanda per questi aspetti alle considerazioni già espresse per il “Gruppo 4: meccanismi nartece, porticati e logge”. Un indicatore di vulnerabilità nei confronti della risposta longitudinale delle chiese è il carico portato dalle volte nella navata centrale, spesso rinforzate mediante la realizzazione di cappe armate anche di considerevole spessore. Non sempre in condizioni di emergenza è possibile l’ispezione diretta del sottotetto per la verifica di tali strutture. Tuttavia, è tecnicamente possibile ispezionare i sottotetti con droni di piccole dimensioni, soprattutto in casi in cui il sisma abbia aperto accessi anche dall’esterno. Dal basso invece, in presenza di lesioni profonde prodottesi nello spessore delle volte, si può tentare un’indagine endoscopica che, in funzione della profondità della fessura potrebbe restituire una stratigrafia parziale e totale, includendo le realizzazioni di recente datazione.

➤ Gruppo 8: Meccanismi nelle volte (TAB.2.1.12)

I meccanismi nelle volte delle chiese sono codificati come (Scheda A-DC):

- M8 Volte della navata centrale
- M9 Volte delle navate laterali
- M12 Volte del transetto
- M18 Volte del presbiterio o dell’abside
- M24 Volte delle cappelle

I meccanismi nelle volte dei palazzi sono codificati come (Scheda B-DP):

- M12 Danno alle volte per rotazione delle imposte
- M13 Danno alle volte per deformazione di piano

I meccanismi di danno alle volte sono inibiti dalla presenza di catene collaboranti disposte in posizione efficace, quindi anche in questo caso è opportuna la verifica del loro tensionamento. Altri presidi antisismici utilizzati tradizionalmente sono i rinfianchi e i frenelli. Come nel citato caso del “Gruppo 7: Meccanismi colonnato”, può essere utile l’ispezione delle volte dal sottotetto, diretta o con drone, non solo al fine di verificare la presenza dei suddetti presidi antisismici, ma anche per l’individuazione di carichi concentrati trasmessi dalla copertura, quali elementi di vulnerabilità.

Particolarmente vulnerabili sono le volte in foglio, soprattutto su campate di grande luce¹¹². Le volte in foglio sono ben riconoscibili per l'apparecchiatura muraria caratterizzata da mattoni disposti di piatto. Spesso questa tipologia di volta è intonacata e la tessitura muraria può essere osservata in termovisione. Già nel precedente paragrafo è stato fornito un esempio di lettura dell'orientamento dei mattoni in una volta mediante termografia¹¹³.

➤ Gruppo 9: Meccanismi nelle cupole e lanterne (TAB.2.1.13)

I meccanismi nelle cupole delle chiese sono codificati come (Scheda A-DC):

- M14 Cupola e tamburo/tiburio
- M15 Lanterna

Per garantire stabilità alle cupole un opportuno accorgimento è quello d'inserire cerchiature alla base delle stesse o sul tamburo, accorgimento che in caso di sisma funge da presidio antisismico¹¹⁴. Le cerchiature sono utili anche per la stabilità della lanterna. Anche in questo caso non sempre le cerchiature sono visibili direttamente, ma essendo spesso realizzate in materiali metallici possono anch'esse essere facilmente individuate a distanza in termovisione. Le cupole non estradossate potrebbero presentare fattori di vulnerabilità specifici, come per esempio carichi concentrati trasmessi dalla copertura. Anche in questo caso è quindi particolarmente indicata l'ispezione del sottotetto. Come nelle volte, sia per la cupola che per la lanterna le eventuali catene hanno un ruolo antisismico e vanno verificate.

➤ Gruppo 10: Meccanismi nell'abside (TAB:2.1.14)

I meccanismi nelle volte delle chiese sono codificati come (Scheda A-DC):

- M16 Ribaltamento dell'abside

L'abside può tendere al ribaltamento con sollecitazioni sismiche in direzione longitudinale rispetto alla chiesa. Il tipo di copertura svolge in questo caso un ruolo determinante essendo il meccanismo favorito dalla spinta del catino absidale. Anche le grandi aperture rappresentano un elemento di vulnerabilità, come i cordoli sommitali in c.a. disposti in sommità con l'intento di cerchiare la muratura. Mediante termografia è possibile individuare eventuali cerchiature lignee o metalliche nascoste al di sotto degli intonaci come anche cordoli e grandi aperture tamponate.

¹¹² NUNZIATA ET AL. 2017

¹¹³ LUALDI ET AL. 2003

¹¹⁴ Per una visione complessiva del comportamento strutturale di volte e cupole e delle indagini diagnostiche e conoscitive connesse si rimanda a TOMASONI 2015.

➤ Gruppo 11: Meccanismi nelle coperture (TAB.2.1.15)

I meccanismi nelle coperture delle chiese sono codificati come (Scheda A-DC):

- M19 Meccanismi negli elementi di copertura-Aula
- M20 Meccanismi negli elementi di copertura-Transetto
- M21 Meccanismi negli elementi di copertura-Abside e presbiterio

I meccanismi nelle coperture dei palazzi sono codificati come (Scheda B-DP):

- M10 Sfilamento testa delle travi o martellamento
- M11 Collassi locali dell'impalcato
- M15 Danno agli elementi di copertura

I meccanismi nelle coperture di chiese e palazzi sono stati accorpati in un unico gruppo perché accomunati dall'impegno di materiali perlopiù lignei¹¹⁵. Uno dei problemi più ricorrenti sulle coperture è quello dello sfilamento delle travi di copertura a seguito di azioni orizzontali trasversali. Il fenomeno si verifica quando in assenza di buone connessioni tra la testa delle travi e la muratura. Lo sfilamento di una trave può essere inibito anche da un buon legamento fra orditure principali e secondarie. In presenza di controsoffitti è opportuno effettuare un'ispezione diretta del sottotetto, tramite drone o in endoscopia. Di grande importanza sono le condizioni conservative degli elementi lignei che possono essere testate mediante analisi resistografica, misure del contenuto di umidità e tomografia sonica per la verifica delle condizioni interne della trave.

➤ Gruppo 12: Meccanismi nei campanili e negli elementi svettanti (TAB: 2.1.16)

I meccanismi nei campanili e negli elementi svettanti delle chiese sono codificati come (Scheda A-DC):

- M26 Aggetti, vela, guglie e statue
- M27 Torre campanaria
- M28 Cella campanaria

I meccanismi negli elementi svettanti dei palazzi sono codificati come (Scheda B-DP):

- M18 Danno agli elementi aggettanti o svettanti

La vulnerabilità sismica dei campanili e, in genere, degli elementi svettanti è dovuta alla loro morfologia tipica, che li espone al rischio di crollo completo. Quando la stabilità delle strutture viene assicurata, tuttavia, le sollecitazioni delle strutture possono provocare gravi dissesti¹¹⁶. Per questi

¹¹⁵ Per approfondimenti sulle coperture lignee, in relazione al comportamento strutturale sotto effetto del sisma, si rimanda alla lettura del Cap.4 "Tetti in legno: costruzione e miglioramento sismico" in CANGI 2005.

¹¹⁶ DI TOMMASO 2013

elementi conta molto la qualità costruttiva, proprio in funzione della loro intrinseca tendenza all'instabilità. Sono pertanto opportuni i controlli della qualità muraria indicati nel precedente paragrafo. Anche le cerchiature sono un presidio antisismico di fondamentale importanza. Le aperture, per ampiezza o disposizione possono generare situazioni di vulnerabilità. In termovisione è possibile individuare sia cerchiature non visibili che aperture tamponate.

TABELLA 2.1.5_MECCANISMI DI RIBALTAMENTO		
Meccanismi chiese	Rappresentazione grafica	Meccanismi palazzi
M1 Ribaltamento facciata M10 Ribaltamento delle pareti di estremità del transetto M22 Ribaltamento delle cappelle		M1 Ribaltamento delle pareti M4 Ribaltamento del cantonale
Presidi antisismici verificabili		Tecnica di indagine diagnostica
Presenza di catene		Termografia – parti superficiali Misure pacometriche – catene sub-superficiali
Muratura uniforme e di buona qualità		Controllo della qualità costruttiva
Indicatori di vulnerabilità verificabili		Tecnica di indagine diagnostica
Presenza di grandi aperture tamponate non visibili in vicinanza del cantonale		Termografia – individuazione di aperture tamponate

TABELLA 2.1.6_MECCANISMI NELLA SOMMITÀ DELLE PARETI		
Meccanismi chiese	Rappresentazione grafica	Meccanismi palazzi
M2 Meccanismi nella sommità della facciata		M3 Rottura a flessione delle pareti M17 Ribaltamento delle fasce sottotetto o del timpano
Presidi antisismici verificabili		Tecnica di indagine diagnostica
Presenza di collegamenti puntuali con gli elementi di copertura		Ispezione con drone
Presenza di cordoli leggeri non visibili		Termografia
Indicatori di vulnerabilità verificabili		Tecnica di indagine diagnostica
Presenza di grandi aperture tamponate non visibili (rosone, finestrone)		Termografia – individuazione di aperture tamponate

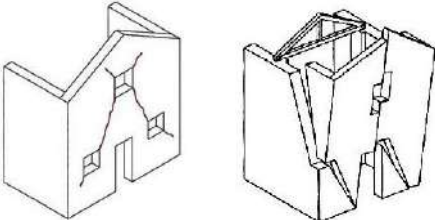
TABELLA 2.1.7_MECCANISMI NEL PIANO DELLE PARETI		
Meccanismi chiese	Rappresentazione grafica	Meccanismi palazzi
M3 Meccanismi nel piano della facciata		
Presidi antisismici verificabili		Tecnica di indagine diagnostica
Presenza di una catena in controfacciata		Termografia – parti superficiali
		Misure pacometriche – catene sub-superficiali
Indicatori di vulnerabilità verificabili		Tecnica di indagine diagnostica
Presenza di grandi aperture tamponate non visibili		Termografia – individuazione di aperture tamponate

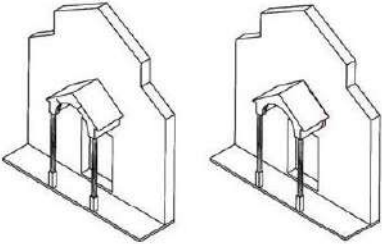
TABELLA 2.1.8_MECCANISMI NARTECE, PORTICATI E LOGGE		
Meccanismi chiese	Rappresentazione grafica	Meccanismi palazzi
M4 Protiro e Nartece		M9 Danno a porticati e logge
Presidi antisismici verificabili		Tecnica di indagine diagnostica
Presenza di catene		Prove di tensionamento delle catene
Presenza di colonne o pilastri di adeguata dimensione e rigidezza		Tomografia sonica-identificazione di vuoti, lesioni e discontinuità

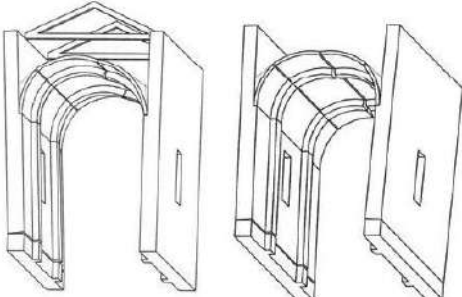
TABELLA 2.1.9_MECCANISMI AULA E ARCHI TRIONFALI		
Meccanismi chiese	Rappresentazione grafica	Meccanismi palazzi
M5 Risposta trasversale dell'aula		
M13 Archi trionfali		
Presidi antisismici verificabili		Tecnica di indagine diagnostica
Presenza di catene trasversali		Prove di tensionamento delle catene
Presenza di catene lignee		Misure resistografiche
		Misure del contenuto igrometrico
		Tomografia sonica

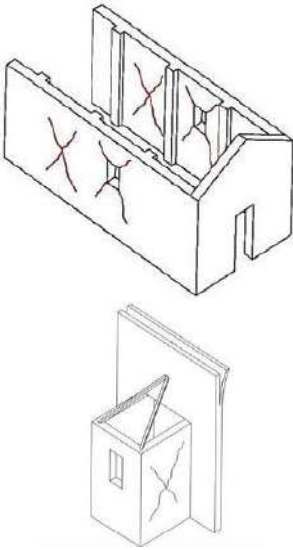
TABELLA 2.1.10_MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI		
Meccanismi chiese	Rappresentazione grafica	Meccanismi palazzi
M6 Meccanismi di taglio nelle pareti laterali M11 Meccanismi di taglio nelle pareti del transetto M17 Meccanismi di taglio nel presbiterio o nell'abside M23 Meccanismi di taglio nelle pareti delle cappelle		M2 Instabilità verticale delle pareti M5, M6, M7 Taglio nelle pareti esterne/interne
Presidi antisismici verificabili		Tecnica di indagine diagnostica
Muratura uniforme e di buona qualità		Controllo della qualità costruttiva
Presenza di cordoli leggeri non visibili		Termografia
Indicatori di vulnerabilità verificabili		Tecnica di indagine diagnostica
Presenza di grandi aperture tamponate non visibili		Termografia – individuazione di aperture tamponate
Presenza di cordoli in c.a. non visibili		Termografia

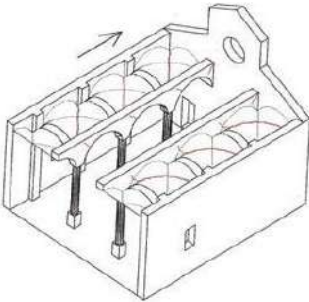
TABELLA 2.1.11_MECCANISMI COLONNATO		
Meccanismi chiese	Rappresentazione grafica	Meccanismi palazzi
M7 Risposta longitudinale del colonnato		
Presidi antisismici verificabili		Tecnica di indagine diagnostica
Presenza di catene longitudinali		Prove di tensionamento delle catene
Presenza di colonne o pilastri di adeguata dimensione e rigidità		Tomografia sonica-identificazione di vuoti, lesioni e discontinuità
Indicatori di vulnerabilità verificabili		Tecnica di indagine diagnostica
Presenza di volte pesanti nella navata centrale, cappe armate di significativo spessore nelle volte		Video endoscopia nello spessore della volta Ispezione con drone – sottotetto accessibile

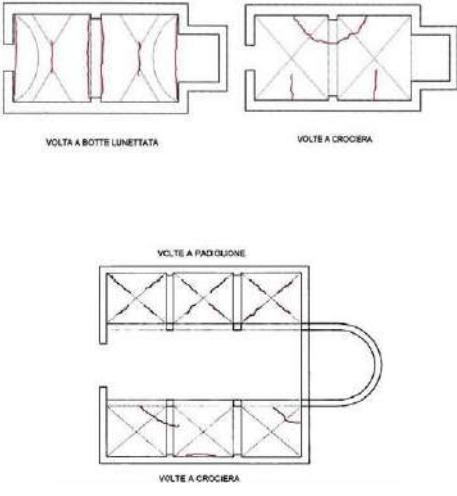
TABELLA 2.1.12 MECCANISMI NELLE VOLTE		
Meccanismi chiese	Rappresentazione grafica	Meccanismi palazzi
M8 Volte della navata centrale M9 Volte delle navate laterali M12 Volte del transetto M18 Volte del presbiterio o dell'abside M24 Volte delle cappelle		M12, M13 Danni alle volte
Presidi antisismici verificabili		Tecnica di indagine diagnostica
Presenza di catene in posizione efficace		Prove di tensionamento delle catene
		Ispezione con drone – sottotetto accessibile
Indicatori di vulnerabilità verificabili		Tecnica di indagine diagnostica
Presenza di carichi concentrati trasmessi dalla copertura		Ispezione con drone – sottotetto accessibile
Volte in foglio su campate di grande luce – tessitura muraria non visibile		Termografia – tessitura muraria

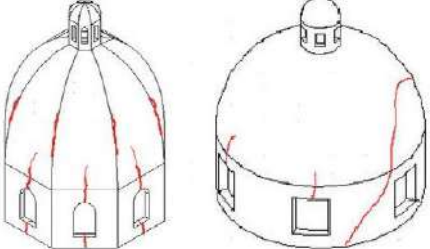
TABELLA 2.1.13 MECCANISMI NELLE CUPOLE E LANTERNE		
Meccanismi chiese	Rappresentazione grafica	Meccanismi palazzi
M14 Cupola e tamburo/tiburio M15 Lanterna		
Presidi antisismici verificabili		Tecnica di indagine diagnostica
Presenza di una cerchiatura esterna non visibile		Termografia
Presenza di catene		Prove di tensionamento delle catene
Indicatori di vulnerabilità verificabili		Tecnica di indagine diagnostica
Presenza di carichi concentrati trasmessi dalla copertura		Ispezione con drone – sottotetto accessibile

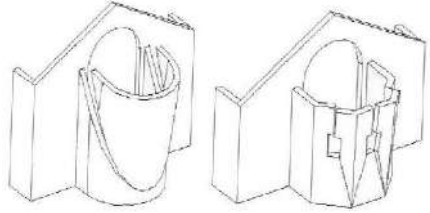
TABELLA 2.1.14 MECCANISMI NELL'ABSIDE		
Meccanismi chiese	Rappresentazione grafica	Meccanismi palazzi
M16 Ribaltamento dell'abside		
Presidi antisismici verificabili		Tecnica di indagine diagnostica
Presenza di una cerchiatura esterna non visibile		Termografia
Indicatori di vulnerabilità verificabili		Tecnica di indagine diagnostica
Presenza di grandi aperture tamponate non visibili		Termografia – individuazione di aperture tamponate
Presenza di cordoli in c.a. non visibili		Termografia

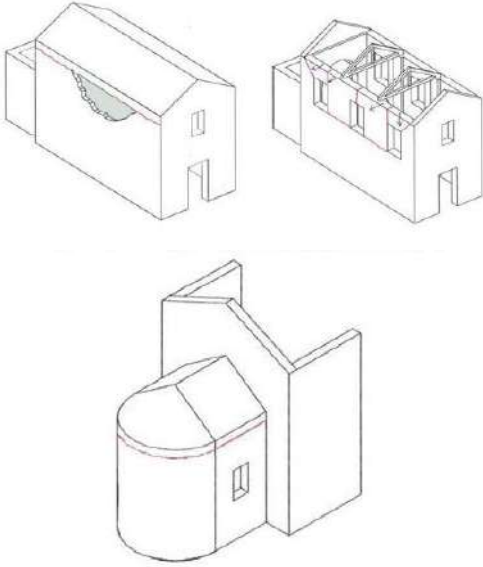
TABELLA 2.1.15 MECCANISMI NELLE COPERTURE		
Meccanismi chiese	Rappresentazione grafica	Meccanismi palazzi
M19 Meccanismi negli elementi di copertura-Aula M20 Meccanismi negli elementi di copertura-Transetto M21 Meccanismi negli elementi di copertura-Abside e presbiterio		M10 Sfilamento testa delle travi o martellamento M11 Collassi locali dell'impalcato M15 Danno agli elementi di copertura
Presidi antisismici verificabili		Tecnica di indagine diagnostica
Presenza di collegamenti delle travi alla muratura e presenza di buone connessioni tra gli elementi dell'orditura della copertura		Video endoscopia – in presenza di controsoffitto
		Ispezione con drone – sottotetto accessibile
Indicatori di vulnerabilità verificabili		Tecnica di indagine diagnostica
Condizioni conservative precarie degli elementi della copertura		Misure resistografiche
		Misure del contenuto igrometrico
		Tomografia sonica

TABELLA 2.1.16 MECCANISMI NEI CAMPANILI E NEGLI ELEMENTI SVETTANTI		
Meccanismi chiese	Rappresentazione grafica	Meccanismi palazzi
M26 Aggetti-Vela, guglie, statue M27 Torre campanaria M28 Cella campanaria		M18 Danno agli elementi aggettanti o svettanti
Presidi antisismici verificabili		Tecnica di indagine diagnostica
Muratura uniforme e di buona qualità		Controllo della qualità costruttiva
Presenza di cerchiature esterne non visibili		Termografia
Indicatori di vulnerabilità verificabili		Tecnica di indagine diagnostica
Presenza di grandi aperture tamponate non visibili		Termografia – individuazione di aperture tamponate

2.1.3 La diagnostica per l'edilizia storica diffusa colpita dal sisma

La maggior parte del patrimonio edilizio storico, soprattutto nei piccoli centri, è costituita da edifici non sottoposti a vincolo diretto ai sensi del Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio. Esistono delle possibilità di tutela e di vincolo paesaggistico che si sono purtroppo rivelate spesso inefficaci¹¹⁷. Anche se le amministrazioni locali possono dotarsi di strumenti di tutela, l'edilizia storica diffusa rimane in ogni caso meno conosciuta, studiata e monitorata rispetto ai monumenti. In emergenza sismica questo divario si accentua, esponendo soprattutto i piccoli centri storici nei territori ad elevata pericolosità sismica al rischio di perdere progressivamente, un sisma dopo l'altro, gran parte del patrimonio diffuso esistente. Le fabbriche storiche minori, in genere, sono intrinsecamente più vulnerabili nei confronti del sisma, in quanto in genere maggiormente soggette a trasformazioni e meno monitorate dei beni monumentali. A fronte di queste considerazioni è molto importante sensibilizzare le amministrazioni locali, non solo per evitare interventi impropri, ma anche per progettare ricostruzioni e opere di miglioramento sismico compatibili con le caratteristiche storico-costruttive degli edifici e dell'abitato. Per quanto di competenza, la scienza della conservazione può collaborare alle buone pratiche necessarie in tal senso. Indagare i materiali e la loro lavorazione, chiarendo storia e tradizioni costruttive locali, può favorire l'attribuzione di un valore di tipo identitario all'edificato storico, facilitando una sensibilizzazione delle amministrazioni locali ad adottare il più possibile, atteggiamenti di tipo conservativo.

Il recupero delle conoscenze sulle tradizioni costruttive locali può favorire iniziative per la formazione di personale che sappia reinterpretare le tecniche antiche adattandole agli attuali criteri di sicurezza sismica¹¹⁸. Auspicabile in tal senso sarebbe il coinvolgimento di professionisti e imprese

¹¹⁷ Nel Codice dei beni culturali e del paesaggio, D.lgs. 42/2004, sussistono riferimenti alla tutela del tessuto edilizio storico. L'articolo 10, al comma 3, lettera d-bis) cita, fra i beni culturali da tutelare, "le cose, a chiunque appartenenti, che presentano un interesse artistico, storico, archeologico o etnoantropologico eccezionale per l'integrità e la completezza del patrimonio culturale della Nazione". Il successivo comma 4 evidenzia come possibili oggetti di tutela "g) le pubbliche piazze, vie, strade e altri spazi aperti urbani di interesse artistico o storico;" e "l) le architetture rurali aventi interesse storico od etnoantropologico quali testimonianze dell'economia rurale tradizionale". All'art. 134, vengono indicate tre possibili tipologie e modalità di individuazione dei beni: a) con decreto ministeriale o regionale; b) con legge; c) con il piano paesaggistico. Per la terza modalità viene demandando all'art. 136 comma 1 lettera c) il potenziale compito di tutelare "i complessi di cose immobili che compongono un caratteristico aspetto avente valore estetico e tradizionale, inclusi i centri ed i nuclei storici". La possibilità di tutelare i centri storici è prevista, quindi, esclusivamente tramite singoli provvedimenti dichiarativi, siano essi finalizzati alla tutela come bene culturale o paesaggistico. In un territorio così densamente caratterizzato dalla presenza di piccole realtà di valore storico-architettonico corale sussiste un'oggettiva difficoltà, dal punto di vista amministrativo, di emanazione dei singoli provvedimenti. Inoltre, il piano paesaggistico è uno strumento che agisce in forma indiretta e la sua efficacia entra in vigore solo allorquando le direttive o le norme prescrittive in esso contenute vengano recepite dagli strumenti urbanistici comunali. Per approfondimenti sul tema si rimanda a GUEMANDI, D'ANGELO 2019.

¹¹⁸ La necessità di recuperare le conoscenze costruttive tradizionali è strettamente connessa con il tema della conservazione programmata, in particolar modo nei centri storici (MARCONI 2005). In molti individuano come

locali¹¹⁹. Il *know how* tradizionale può essere in parte recuperato per esempio mediante l'applicazione di criteri simili a quelli diffusamente utilizzati dall'archeologia sperimentale: si tenta di riacquisire una conoscenza produttiva ormai perduta in primo luogo attraverso l'indagine scientifica condotta sul materiale autentico e poi con la riproduzione empirica dei risultati prodotti da tale indagine¹²⁰.

Nell'ottica suddetta è stato elaborato uno strumento finalizzato a favorire l'acquisizione di un adeguato livello di conoscenza scientifica relativamente alla caratterizzazione dei materiali. Tale strumento è stato concepito come allegato alla scheda AeDES dedicato all'approfondimento materico-diagnostico della fabbrica danneggiata dal sisma. La scheda AeDES costituisce l'unico tipo di documentazione standardizzata ed estensiva dedicata al tessuto storico, pertanto l'allegato proposto dovrebbe inserirsi nell'ambito di una procedura ufficiale utilizzata nella gestione dell'emergenza post-sisma. L'indagine viene prevista in fase emergenziale per ragioni precise. L'osservazione diretta dello stato di fatto di un edificio e dei suoi materiali costituenti, nonché l'indagine diagnostica conoscitiva sono tanto più scientificamente valide quanto più tempestiva risulta l'investigazione. Questo perché le indagini scientifiche forniscono molte più informazioni sulle caratteristiche di un materiale poco alterato. È evidente che la sollecitazione sismica e gli eventuali danni prodotti costituiscono già di per sé uno shock sui materiali, magari già degradati in precedenza. Dopo un sisma e in attesa della fase di ricostruzione molti edifici rimangono in uno stato di abbandono danneggiandosi e degradandosi ulteriormente. Tale riscontro costituisce una ragione in più per prevedere l'esecuzione di un approfondimento materico-diagnostico già al momento dei primi sopralluoghi effettuati per stimare i danni occorsi sulle fabbriche.

progetto manifesto il Piano Pilota per la conservazione programmata dei beni culturali in Umbria del 1975 di Giovanni Urbani (BASILE 2004, MINOSI 2005, CECCHINI 2012, DELLA TORRE 2014). Da quel momento molti studi, ricerche, contributi e progetti realizzati hanno più volte coinvolto nel processo anche il settore della diagnostica per i beni culturali (SOTGIA 2003). La connessione tra lo studio scientifico di materiali e tecniche di produzione e conservazione programmata risiede principalmente nel processo di recupero delle conoscenze sulle tradizioni costruttive andate perdute per cui non esiste più manodopera specializzata (MARCONI 1984). La divulgazione del dato scientifico assolve in quest'ambito una doppia funzione: quella del coinvolgimento delle comunità nel processo (PUTT 2001) e quella dell'attivazione di recupero delle tradizioni artigianali locali con il conseguente sviluppo di manodopera specializzata e di ritorno economico sul territorio (DELLA TORRE 2010).

¹¹⁹ CARBONARA 2018

¹²⁰ MANNONI GIANNICEDDA 1996, COLES 2008, MOLINARI ET AL. 2014, CAMINNECI ET AL. 2016

2.1.3.1 Allegato materico-diagnostico alla scheda AeDES

L'allegato materico-diagnostico proposto è strutturato in tre parti. La prima, denominata "SEZIONE 1: CONDIZIONI DI BASE: DATI SCHEDA AeDES", riassume le condizioni di base affinché si possa procedere con l'approfondimento materico diagnostico che sono:

- che l'edificio sia stato costruito prima del 1919 o dal 1919 al 1945;
- che non si sia in presenza di danni gravissimi, come crolli o situazioni al limite del collasso; tale situazione permette infatti esclusivamente un'analisi a vista dei materiali e delle tecniche costruttive, mentre rende oggettivamente difficile la conduzione di indagini diagnostiche di tipo strumentale, ipotizzabile per i soli beni vincolati;
- che l'edificio sia stato dichiarato inagibile nella scheda AeDES. In tal caso, il periodo di mancata utilizzazione del bene consentirebbe gli approfondimenti diagnostico-conoscitivi necessari.

I *range* di datazione degli edifici "anteriore al 1919" e "1919-1945" seguono la suddivisione imposta dalla scheda AeDES. È pur vero che possano esistere edifici di interesse storico e culturale anche posteriori al 1945. Tuttavia, lo studio delle loro caratteristiche materiche e costruttive non ricadrebbe tanto nell'intento del recupero delle conoscenze tradizionali di edificazione, quanto nel campo della ricerca oggi di grande attualità sui materiali di produzione industriale, sulla loro durabilità e sulle forme di degrado su cui attualmente ci si trova ad intervenire per la prima volta¹²¹. Per quanto concerne le situazioni di crollo citate al secondo punto in elenco ci si riserva di proporre l'indagine diagnostica sui materiali nel contesto della gestione e rimozione delle macerie classificate di tipo B in riferimento alla Direttiva MiBACT del 12/09/16, "rimozione e recupero delle macerie", tema affrontato nel presente capitolo al paragrafo 2.2.

La seconda parte, denominata "SEZIONE 2: APPROFONDIMENTO MATERICO", è costituita da una serie di tabelle in cui si registra, fornendo una più possibilmente ricca e significativa documentazione fotografica, lo stato di fatto delle strutture e dei materiali costituenti.

¹²¹ A proposito di questa branca della ricerca attuale è opportuno segnalare l'esperienza ormai consolidata dell'associazione Docomomo International (International working party for DOcumentation and COnservation of buildings, sites and neighbourhoods of the MOdern MOvement). Docomomo International nasce nel 1988, fondata dagli architetti olandesi Huber-Jan Henket e Wessel de Jonge, ispirandosi ad alcune linee di ricerca dell'ICOMOS, sviluppate negli anni precedenti, sulla conservazione e protezione dell'urbanistica e dell'architettura moderna. Nel 1995 si costituisce come associazione culturale a Roma Docomomo Italia. Oltre ad aver favorito ricerche orientate alla documentazione e conoscenza del patrimonio architettonico moderno, l'associazione ha promosso studi e ricerche finalizzati all'individuazione di metodologie e criteri di intervento appropriati, anche in relazione alle "nuove" forme di alterazione e degrado dei materiali. Dal 1998, nella rivista "Docomomo Italia giornale" viene pubblicata la rubrica "Materiali del Moderno". Molti dei contributi comparsi in tale rubrica sono stati raccolti e ulteriormente sviluppati in CUPELLONI 2017.

Delle murature si caratterizzano a vista:

- gli elementi lapidei, con descrizione, in nota, dei litotipi o dei lapidei artificiali;
- le malte di allettamento, tradizionali o sostituite da stuccature recenti mettendo in nota una caratterizzazione a vista delle componenti materiche e una valutazione sullo stato di conservazione;
- le forme di degrado pregresso che possono aver determinato una fragilità intrinseca dell'edificio nei confronti dell'azione sismica e la loro estensione.

L'analisi dei litotipi ricorrenti nelle murature aiuta a localizzare i bacini storici di approvvigionamento dei materiali da costruzione. A tale scopo andrebbe effettivamente condotto uno studio minimo, preliminare alla fase di sopralluogo e compilazione dell'allegato, sulla geo-litologia del territorio in esame, che favorirebbe la corretta caratterizzazione a vista dei litotipi e contemporaneamente fornirebbe un'immediata idea della provenienza di essi. Per quanto concerne invece la rilevazione dell'impiego di materiali lapidei artificiali, che nelle murature storiche sono quasi sempre rappresentati da laterizi, si possono comunque individuare qualitativamente a vista caratteristiche di discriminazione dei vari tipi come le dimensioni o il colore. Di particolare significato è l'analisi e descrizione delle malte, di per sé un materiale in grado di fornire molteplici informazioni sull'inquadramento storico della fase produttiva della fabbrica (SPERA, ESPOSITO, GIORGI 2011). La caratterizzazione a vista di una malta in opera può riservare più di una difficoltà per ovviare alla quale ci si può dotare di un'attrezzatura minima portatile (lente da geologo, microscopio portatile, obiettivi macro per fotocamera e dispositivi di ingrandimento per fotocamera *smartphone*) e qualche accorgimento tecnico (Cfr. paragrafo 2.1.3.2 Allegato materico-diagnostico: Normativa di compilazione). Di fondamentale importanza è il saper discriminare tra malte di tipo tradizionale e stuccature, integrazioni o rifacimenti di recente realizzazione. La finalità non è solo di tipo descrittivo e analitico delle fasi di intervento sul costruito storico, ma può avere ricadute anche sullo studio del comportamento delle murature in caso di sisma. Va infatti approfondito il tema del comportamento meccanico delle murature sottoposte a interventi di ristilatura profonda dei giunti, risultate in alcuni casi molto resistenti al sisma¹²². Se il riconoscimento visivo può essere semplice in presenza della sostituzione, purtroppo frequenti, delle malte originarie con impasti a legante cementizio, più difficile

¹²² In DOGLIONI, MARCHETTI, MODENA 2017 viene segnalato che, in occasione della ricerca sul comportamento ai sismi del 2016 degli edifici storici di Umbria e Marche già consolidati dopo i terremoti del 1979 e 1997, sono state osservate numerose costruzioni la cui muratura era stata oggetto di ristilatura profonda dei giunti. I comportamenti osservati portano a giudicare l'intervento come decisamente migliorativo. Si auspica pertanto di dirigere la futura ricerca sull'accertamento della natura e delle caratteristiche delle malte utilizzate per la ristilatura, nonché della profondità della ripresa e della coesistenza con altri interventi di miglioramento sismico, nei casi più risolutivi. In caso di conferma dell'efficacia di questo tipo d'intervento si potrebbero individuare soluzioni quanto più compatibili, sia esteticamente che dal punto di vista conservativo.

può essere individuare stuccature con materiali e tecniche tradizionali, identificabili piuttosto tramite l'osservazione dello stato di conservazione e delle caratteristiche morfologiche dei giunti oltre che con la tipologia di posa in opera. Contestualmente alla descrizione dei materiali costituenti delle murature, litici e litoidi, l'allegato prevede l'annotazione delle forme di degrado pregresse significative nei confronti della risposta alle sollecitazioni sismiche, quali principalmente l'erosione dei giunti di malta e la mancanza di elementi lapidei dai paramenti murari, nonché altre forme di degrado degli elementi lapidei giudicate come significative dal compilatore. Oltre a segnalare le forme di degrado è necessario annotare una stima dell'estensione delle stesse sull'intero edificio in modo da poter disporre di un quadro complessivo che permetta di studiare le eventuali correlazioni tra forme di degrado pregresse e danni riportati in occasione del sisma.

Per i dati sulle murature a vista sono state predisposte due differenti tabelle. La "TABELLA 1: MURATURA: TESSITURA IRREGOLARE E DI CATTIVA QUALITÀ" oppure la "TABELLA 2: MURATURA: TESSITURA REGOLARE E DI BUONA QUALITÀ", coerentemente con quanto registrato nei corrispettivi campi di compilazione della scheda AeDES.

In presenza di muratura non a vista, analoghe annotazioni di approfondimento sono riservate allo stato di fatto degli intonaci storici. Compilando la "TABELLA 3: MURATURA NON A VISTA" si forniscono dati su:

- tipologia d'intonaco tradizionale o non tradizionale. Per l'intonaco tradizionale si forniscono in nota la descrizione orientativa dei materiali componenti e lo spessore dei singoli strati sovrapposti, se rilevabili;
- le forme di degrado che possono essere legate all'azione sismica e la loro estensione.

Sul destino degli intonaci storici dopo i sismi, spesso infelice, andrebbe aperto un capitolo a parte, tanti sono gli esempi di perdita pressoché totale delle testimonianze materiali. Sempre più frequentemente accade di assistere alla rimozione totale di intonaci anche danneggiati solo in parte, rimpiazzati da rivestimenti ottenuti con materiali e tecniche di stesura ben lontani dalla tradizione e pertanto incompatibili non solo dal punto di vista estetico ma anche sul piano della conservazione nel tempo della fabbrica. Il danno percettivo sui fronti edilizi non riguarda esclusivamente gli aspetti cromatici su cui tanto si è dibattuto, senza ottenere risultati pienamente soddisfacenti nella prassi, da decenni a questa parte¹²³. Numerosi problemi di lettura dell'architettura delle facciate risiedono anche

¹²³ Già nel 1984, Paul Philippot, Laura Mora e Paolo Mora in occasione del Convegno di Studi "Intonaci colore e coloriture nell'edilizia storica" segnalavano con decisione come inaccettabili casi di nuove coloriture stese uniformemente su intere facciate senza distinzione tra elementi architettonici e piani di fondo, come anche quelli in cui tale distinzione era stata rispettata ma, a causa dell'utilizzo di materiali di produzione industriale, le campiture dei piani di fondo erano divenute talmente opache da risultare percettivamente sullo stesso piano

negli inopportuni spessori dei nuovi intonaci, nonché dalla tessitura delle superfici quasi ossessivamente liscia e opaca che nulla ha a che vedere con il naturale effetto di vibrazione della luce incidente su un intonaco tradizionale¹²⁴. Per questi motivi si è ritenuto importante segnalare nell'allegato la presenza di intonaco di tipo tradizionale, associandovi, laddove visibile, una particolareggiata descrizione delle successioni stratigrafiche. Questo tipo di rilevazione/segnalazione, seppure di carattere speditivo, è un necessario, ma non sufficiente, punto di partenza al fine di preservare le superfici autentiche, valido soprattutto nel contesto dell'edilizia diffusa non tutelata, per la manutenzione della quale sempre più spesso le amministrazioni locali e centrali incentivano le iniziative dei privati cittadini senza fornire una chiara guida per le modalità di intervento¹²⁵. Di non secondaria importanza è la stima dell'estensione delle forme di degrado correlabili agli effetti del sisma, quali fessurazioni o lesioni di maggiore entità, distacchi localizzati, con o senza caduta di materiale. Questo perché, se in alcuni casi tali forme di danno possono essere diagnostiche di dissesti strutturali al di sotto dell'intonaco, in altri casi sono solo effetti localizzati degli stress meccanici subiti durante l'azione sismica, che non è affatto detto si estendano all'intera superficie, ragion per cui sarebbe quantomeno sovradimensionata la scelta di una rimozione totale.

Una tabella è prevista anche per le strutture in legno: "TABELLA 4: STRUTTURE IN LEGNO". In questa tabella si censisce il solo degrado delle strutture e la sua estensione, non essendo affatto

rispetto allo scheletro architettonico di ordini e cornici, se non in primo piano (PHILIPPOT, MORA, MORA 1984). Nello stesso contesto, Gaetano Miarelli Mariani evidenziava la complessità delle problematiche relative al trattamento del colore nell' "edilizia minore", sottolineando il delicato e necessario equilibrio tra l'importanza di relazionare all'insieme degli elementi del tessuto ogni intervento e il rispetto dell'individualità del singolo elemento (MIARELLI MARIANI 1984). Da queste prime riflessioni è stato lungamente e accuratamente dibattuto negli anni il tema del colore delle superfici architettoniche (SETTE 1988; CARBONARA 1997; CARBONARA 1998; FIORANI 2001; MURATORE 2010; DOGLIONI, SCAPPIN, SQUASSINA, TROVÒ 2017).

Un importante contributo tecnico sulla misurazione oggettiva del colore è costituito dagli atti delle conferenze annuali del Gruppo Del Colore, Associazione Italiana Colore, convocate a partire dal 2005 sotto il titolo "Colore e Colorimetria: contributi multidisciplinari".

¹²⁴ A seguito del sisma aquilano del 2009, numerosi sono stati gli interventi di totale rimozione e rifacimento del nuovo intonaco. Spesso con l'occasione si è proceduto alla realizzazione di intonaci armati e/o di cappotti esterni di considerevole spessore. I primi giustificati come miglioramento sismico di risposta delle strutture murarie, i secondi realizzati al fine di adeguarsi alle normative di efficientamento energetico tentando così una valorizzazione immobiliare degli edifici del centro storico. Queste soluzioni hanno notevolmente alterato l'aspetto dei fronti edilizi, non solo dal punto di vista cromatico, ma anche con esiti di distorsione della lettura dell'architettura delle facciate, portando, a causa dell'eccessivo spessore del nuovo intonaco, cornici ed elementi decorativi sullo stesso piano del fondo, se non addirittura in sottosquadro (PLACIDI 2015).

¹²⁵ Riflessioni su questo tema sono ben esposte in FIORANI 2019. A tal proposito si consulti inoltre la guida online del "bonus facciate 2020":

(https://www.agenziaentrate.gov.it/portale/documents/20143/233439/Guida_Bonus_Facciate.pdf/129df34a-b8b7-5499-a8fb-55d2a32a0b12) (data ultima consultazione 20/07/20), nella quale, non ostante compaia più volte il termine "restauro" associato ai lavori in facciata, nonché venga precisato in più di un punto che le spese coperte dal provvedimento comprendono anche i lavori "di sola pulitura e ritinteggiatura delle facciate", non vengono forniti criteri di opzione, né tantomeno definite modalità di intervento in funzione dei contesti, perlomeno orientativamente.

immediato il riconoscimento a vista delle essenze lignee utilizzate, sia perché potrebbe essere impossibile in fase di emergenza un'analisi ravvicinata, sia perché le forme di degrado e invecchiamento dei legni spesso non consentono tale individuazione, se non mediante una campionatura e successiva caratterizzazione microscopica dei legni in laboratorio. Tuttavia, l'individuazione della tipologia di degrado di cui è affetto il materiale e, anche in questo caso, l'estensione di questo, unite alla valutazione orientativa sulla recuperabilità o meno dei singoli elementi, anche in funzione della loro appartenenza ad orditure principali o secondarie, può favorire una presa di coscienza circa l'opportunità o meno di sostituire materiali autentici¹²⁶.

L'ultima tabella della sezione 2, "TABELLA 5: ELEMENTI NOTEVOLI", vuole offrire una sintetica descrizione degli elementi notevoli quali cantonali, cornici, portali, marcapiani elementi decorativi, caratterizzanti l'edificio dal punto di vista architettonico. Seppure con una certa attenzione rivolta ai materiali di realizzazione di tali elementi, questa tabella assolve il compito di riportare alla dimensione dell'analisi architettonica una scheda prettamente di tipo tecnico. Se infatti tra le finalità dell'allegato proposto c'è il recupero del valore della tradizione costruttiva, essa non può essere intesa esclusivamente come tipo di materiale utilizzato, sua lavorazione e tecnica di assemblaggio, ma anche come scelta di forme, rappresentazioni, codificazioni e sintassi dell'architettura storica locale. Peraltro, determinate scelte sono fortemente condizionate dai materiali disponibili in loco come dalle tecniche di lavorazione che, proprio in funzione delle specifiche caratteristiche di lavorabilità, resa finale, durezza, si sono sviluppate nel tempo. Altri fattori che influenzano indirettamente la forma dei dettagli architettonici dell'edilizia storica sono il contesto socio-economico e climatico-ambientale. Negli edifici più poveri prevarrà quindi l'attenzione allo studio delle caratteristiche materiche. Gli edifici più connotati dal punto di vista architettonico forniranno invece informazioni su forme ricorrenti o eccezionali.

Effettivamente, a conclusione della seconda sezione dell'allegato, descrittiva di tutte le caratteristiche materiche, costruttive, conservative ed espressive del tessuto edilizio locale, si fornisce un quadro generale e completo, mutuato perlopiù dall'osservazione delle tecniche costruttive/esecutive. Anche solo compilando la seconda sezione si fornisce alle amministrazioni locali un gran repertorio di informazioni conoscitive del patrimonio storico architettonico. Informazione che di per sé hanno una

¹²⁶ Per quanto concerne la valutazione in situ delle strutture lignee degli edifici storici si segnala la normativa recentemente entrata in vigore: UNI EN 17121:2019 – "Conservazione del patrimonio culturale – Strutture storiche in legno – Linee guida per la valutazione in situ di strutture in legno portanti".

validità culturale, ma che sono anche propedeutiche allo sviluppo di eventuali progetti diagnostico-conoscitivi a cui è dedicata la sezione 3.

La terza parte, “SEZIONE 3: PRESCRIZIONI PER LA DIAGNOSTICA” è pensata per orientare la scelta sul quale tipo di progetto diagnostico sia più opportuno¹²⁷. La tabella di uscita dell'allegato confronta i dati di approfondimento materico con quelli di rilievo dei danni strutturali censiti nella scheda AeDES. A seconda delle combinazioni tra danno sismico e degrado pregresso dei materiali viene attribuito un punteggio da 0 a 9 all'edificio in osservazione. Nella migliore delle ipotesi, valutata con il punteggio 0, l'edificio si trova in una situazione di danno assente; fino al valore 3 il danno è leggero o localizzato e isolato e, contemporaneamente, lo stato conservativo dei materiali è buono o insistono fenomeni di degrado non molto estesi. A questa situazione corrisponde la prescrizione di un progetto diagnostico costituito dalle sole indagini conoscitive, rivolte alla caratterizzazione chimico-fisica dei materiali in opera e allo studio delle tecniche di lavorazione dei materiali o di esecuzione dei manufatti decorativi¹²⁸. Di contro, un punteggio pari o superiore di 6 denuncia una situazione di rilevante danneggiamento delle strutture, con contemporaneo deperimento, anche pregresso, dei materiali in opera. Questa condizione favorisce un'organizzazione del progetto diagnostico orientata esclusivamente alle sole verifiche di tipo strutturale.

Situazioni intermedie corrispondenti a punteggi da 4 a 5 prevedono la sovrapposizione di entrambi gli approcci.

¹²⁷ A seguito del sopralluogo AeDES può essere comunque riservata la possibilità di prelevare materiale derivante da demolizioni o rimozioni da utilizzarsi come campione per indagini diagnostiche conoscitive in laboratorio, motivandone la rappresentatività nei confronti della conoscenza dell'intero edificio.

¹²⁸ Il termine archeometria significa 'misura dell'antico' e indica la determinazione scientifica di ogni caratteristica misurabile dei prodotti umani archeologici. La disciplina nasce negli scorsi anni '50 in Inghilterra come supporto agli studi archeologici ma, per estensione, ha trovato molte applicazioni in altri settori umanistici, come la storia dell'arte e dell'architettura, con notevoli ricadute anche sulla disciplina del restauro.

SCHEDA DI 1° LIVELLO DI RILEVAMENTO DANNO, PRONTO INTERVENTO E AGIBILITÀ PER EDIFICI ORDINARI NELL'EMERGENZA POST-SISMICA

ALLEGATO DI APPROFONDIMENTO MATERICO-DIAGNOSTICO

ID SCHEDA: _____

DATA _____

SEZIONE 1_CONDIZIONI DI BASE: DATI SCHEDA AeDES

Età Edificio	Costruzione: <input type="checkbox"/> < 1919	Ristrutturazione: <input type="checkbox"/> 19 ÷ 45
	<input type="checkbox"/> 19 ÷ 45	<input type="checkbox"/> 46 ÷ 61
		<input type="checkbox"/> 62 ÷ 71
		<input type="checkbox"/> 72 ÷ 81
		<input type="checkbox"/> 82 ÷ 86
		<input type="checkbox"/> 87 ÷ 91
		<input type="checkbox"/> 92 ÷ 96
		<input type="checkbox"/> 97 ÷ 01
		<input type="checkbox"/> 02 ÷ 08
		<input type="checkbox"/> 09 ÷ 11
	<input type="checkbox"/> > 2011	

DANNI A ELEMENTI STRUTTURALI	<input type="checkbox"/> Medio Grave	<input type="checkbox"/> Leggero	<input type="checkbox"/> Nullo
-------------------------------------	--------------------------------------	----------------------------------	--------------------------------

ESITO DI AGIBILITÀ	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> D	<input type="checkbox"/> E	<input type="checkbox"/> F
---------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------

SEZIONE 2 APPROFONDIMENTO MATERICO
TABELLA 1_MURATURA: TESSITURA IRREGOLARE E DI CATTIVA QUALITÀ □

Elementi lapidei	① Bozze non lavorate	② Ciottoli	③ Laterizi	④ Altri Elementi
Malte				
⑤ Tradizionali □ In buono stato di conservazione □ In cattivo stato di conservazione	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
⑥ Stucature recenti □ In buono stato di conservazione □ In cattivo stato di conservazione	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Degrado	Erosione dei giunti	⑦ Degrado degli elementi lapidei	Mancanza di elementi lapidei	
Estensione E				
E < 10%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10% < E < 25%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25% < E < 50%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
50% < E < 75%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
E > 75%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
NOTE:				
①				
②				
③				
④				
⑤				
⑥				
⑦				

TABELLA 2_MURATURA: TESSITURA REGOLARE E DI BUONA QUALITÀ <input type="checkbox"/>				
Elementi lapidei	① Pietra squadrata	② Laterizi	③ Blocchetti	④ Mista
Malte				
⑤ Tradizionali <input type="checkbox"/> In buono stato di conservazione <input type="checkbox"/> In cattivo stato di conservazione	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
⑥ Stuccature recenti <input type="checkbox"/> In buono stato di conservazione <input type="checkbox"/> In cattivo stato di conservazione	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Spessore dei giunti S	<input type="checkbox"/> $S < 1 \text{ cm}$	<input type="checkbox"/> $1 \text{ cm} < S < 3 \text{ cm}$	<input type="checkbox"/> $S > 3 \text{ cm}$	
Degrado	Erosione dei giunti	⑦ Degrado degli elementi lapidei	Mancanza di elementi lapidei	
Estensione E				
$E < 10\%$	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$10\% < E < 25\%$	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$25\% < E < 50\%$	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$50\% < E < 75\%$	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$E > 75\%$	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
NOTE:				
①				
②				
③				
④				
⑤				
⑥				
⑦				

TABELLA 3_MURATURA: NON A VISTA □			
Tipologia intonaco Spessore S	① Tradizionale		Non tradizionale
	Un livello	② Più livelli	
S < 3 cm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 cm < S < 5 cm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
S > 5 cm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Spessore non rilevabile	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Degrado Estensione E	③ Distacco		Fessurazione / Lesione
E < 10%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10% < E < 75%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
E > 75%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
NOTE:			
①			
②			
③			

TABELLA 4_STRUTTURE IN LEGNO □			
Degrado Struttura	① Elementi degradati		Elementi mancanti
	Orditura Principale	<input type="checkbox"/>	
Orditura Secondaria	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Estensione del degrado	<input type="checkbox"/> 10-50%	<input type="checkbox"/> 50-75%	<input type="checkbox"/> >75%
NOTE:			
①			

TABELLA 5 ELEMENTI NOTEVOLI <input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Cantionali	
<input type="checkbox"/> Cornici	
<input type="checkbox"/> Portali	
<input type="checkbox"/> Decorativi/Altro	

SEZIONE 3 PRESCRIZIONI PER LA DIAGNOSTICA

Componente Strutturale	Danno	Assente		Leggero			Medio Grave		
		Estensione del degrado		Estensione del degrado			Estensione del degrado		
		< 75%	>75%	10-50%	50-75%	>75%	10-50%	50-75%	>75%
Murature	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Strutture in legno	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Componente non strutturale	Danno	Assente				Presente (Lesioni)			
		Estensione del degrado				Estensione del degrado			
		< 75%		>75%		< 75%		>75%	
Intonaci	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

<input type="checkbox"/>	0		Punteggio	ESITO
<input type="checkbox"/>	1		0-3	<input type="checkbox"/> Progetto diagnostico conoscitivo
<input type="checkbox"/>	2		4-5	<input type="checkbox"/> Verifica strutturale / progetto diagnostico conoscitivo
<input type="checkbox"/>	3		6-9	<input type="checkbox"/> Verifica strutturale

Prescritte demolizioni o rimozioni di materiale "provvedimenti di pronto intervento scheda AeDES "	<input type="checkbox"/>	Prelievo di materiale per indagini diagnostiche conoscitive	<input type="checkbox"/>
MOTIVAZIONI DEL PRELIEVO:			

2.1.3.2 Allegato materico-diagnostico alla scheda AeDES: normativa di compilazione¹²⁹

Si fornisce di seguito una normativa per la compilazione della scheda proposta dal titolo Allegato materico-diagnostico, che per brevità da questo momento chiameremo AMD, da riferirsi sempre e comunque alla scheda AeDES relativa all'edificio in esame. Per tale motivo nel campo ID SCHEDA va riportato l'identificativo della scheda AeDES corrispondente, composto da: numero assegnato al compilatore della scheda AeDES dal coordinamento centrale; numero progressivo della scheda e la data del sopralluogo effettuato per la compilazione della scheda AeDES. La compilazione dell'AMD può essere effettuata anche in data successiva a quella del sopralluogo relativo alla compilazione della scheda AeDES. Va quindi sempre annotata, al di sotto del campo ID SCHEDA, la data effettiva di compilazione dell'Allegato materico-diagnostico.

SEZIONE 1 CONDIZIONI DI BASE: DATI SCHEDA AeDES

L'AMD è destinato al censimento dei soli edifici che nella corrispondente Scheda AeDES sono indicati come precedenti al 1919 o costruiti dal 1919 al 1945. Vanno pertanto riportate nella Sezione 1 le datazioni così come indicate nella Scheda AeDES, compresi i dati riguardanti le ristrutturazioni.

ESEMPIO

SEZIONE 2 Descrizione edificio									
Dati metrici				Età		Uso - esposizione			
N° Piani totali con interrati	Altezza media di piano [m]	Superficie media di piano [m ²]		Costruzione e ristrutturaz. [max 2]	Uso	N° unità d'uso	Utilizzazione	Occupanti	
<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 9	1 <input type="radio"/> ≤ 2.50	A <input type="radio"/> ≤ 50	I <input type="radio"/> 400 ÷ 500	1 <input type="checkbox"/> ≤ 1919	A <input type="checkbox"/> Abitativo	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	A <input type="radio"/> > 65%	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 10	2 <input type="radio"/> 2.50÷3.50	B <input type="radio"/> 50 ÷ 70	L <input type="radio"/> 500 ÷ 650	2 <input checked="" type="checkbox"/> 19 ÷ 45	E <input type="checkbox"/> Produttivo	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	B <input type="radio"/> 30÷65%	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 11	3 <input type="radio"/> 3.50÷5.0	C <input type="radio"/> 70 ÷ 100	M <input type="radio"/> 650 ÷ 900	3 <input type="checkbox"/> 46 ÷ 61	C <input type="checkbox"/> Commercio	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	C <input type="radio"/> < 30%	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 12	4 <input type="radio"/> > 5.0	D <input type="radio"/> 100 ÷ 130	N <input type="radio"/> 900 ÷ 1200	4 <input type="checkbox"/> 62 ÷ 71	D <input type="checkbox"/> Uffici	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	D <input type="radio"/> Non utilizz.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> >12		E <input type="radio"/> 130 ÷ 170	O <input type="radio"/> 1200 ÷ 1600	5 <input checked="" type="checkbox"/> 72 ÷ 81	E <input type="checkbox"/> Serv. Pub.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	E <input type="radio"/> In costruz.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="radio"/> 6	Piani interrati	F <input type="radio"/> 170 ÷ 230	P <input type="radio"/> 1600 ÷ 2200	6 <input type="checkbox"/> 82 ÷ 91	F <input type="checkbox"/> Deposito	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	F <input type="radio"/> Non finito	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="radio"/> 7	A <input type="radio"/> 0 C <input type="radio"/> 2	G <input type="radio"/> 230 ÷ 300	Q <input type="radio"/> 2200 ÷ 3000	7 <input type="checkbox"/> 92 ÷ 01	G <input type="checkbox"/> Strategico	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	G <input type="radio"/> Abbandon.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="radio"/> 8	B <input type="radio"/> 1 D <input type="radio"/> ≥3	H <input type="radio"/> 300÷ 400	R <input type="radio"/> > 3000	8 <input type="checkbox"/> ≥ 2002	H <input type="checkbox"/> Turis-ricet.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
						Proprietà		A <input type="radio"/> Pubblica B <input type="radio"/> Privata	

¹²⁹ La presente normativa di compilazione è destinata a un compilatore che si immagina debba essere un esperto in diagnostica dei beni culturali, figura professionale prevista negli elenchi nazionali dei professionisti del MiBACT (DM 244 19/05/19). Molte definizioni proprie della disciplina dell'architettura, non necessariamente in possesso del bagaglio culturale del professionista, vengono chiarite al fine di una corretta interpretazione dei campi di compilazione previsti nell'allegato.

ALLEGATO MATERICO-DIAGNOSTICO

Età Edificio	Costruzione:	<input type="checkbox"/> < 1919	Ristrutturazione:	<input type="checkbox"/> 19 ÷ 45
		<input checked="" type="checkbox"/> 19 ÷ 45		<input type="checkbox"/> 46 ÷ 61
				<input type="checkbox"/> 62 ÷ 71
				<input checked="" type="checkbox"/> 72 ÷ 81
				<input type="checkbox"/> 82 ÷ 86
				<input type="checkbox"/> 87 ÷ 91
				<input type="checkbox"/> 92 ÷ 96
				<input type="checkbox"/> 97 ÷ 01
				<input type="checkbox"/> 02 ÷ 08
				<input type="checkbox"/> 09 ÷ 11
			<input type="checkbox"/> > 2011	

La compilazione dell'AMD non è prevista in caso di almeno un danno ad elementi strutturali, classificato nella Sezione 4 della Scheda AeDES come gravissimo (D4-D5), indipendentemente dalla sua estensione. In presenza di soli danni classificati con le diciture “Medio Grave” (D2-D3), “Leggero” (D1) o “Nulla”, si può procedere alla compilazione dell'AMD, riportando la tipologia di danno più grave, tra quelli registrati nella Scheda AeDES, nella Sezione 1.

ESEMPIO

SCHEDA AeDES

SEZIONE 4 Danni ad ELEMENTI STRUTTURALI e provvedimenti di pronto intervento (P.I.) eseguiti

Livello - estensione	DANNO ⁽¹⁾										PROVEDIMENTI DI P.I. ESEGUITI					
	D4-D5 Gravissimo			D2-D3 Medio grave			D1 Leggero			Nulla	Nessuno	Demolizioni	Cerchiature e/o tiranti	Riparazione	Puntelli	Trasenne e protezione passaggi
	> 2/3	1/3 - 2/3	< 1/3	> 2/3	1/3 - 2/3	< 1/3	> 2/3	1/3 - 2/3	< 1/3							
Componente strutturale - Danno preesistente	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	A	B	C	D	E	F
1 Strutture verticali	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 Solai	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 Scale	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4 Copertura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 Tamponature-tramezzi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6 Danno preesistente	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

(1) - Di ogni livello di danno indicare l'estensione solo se esso è presente. Se l'oggetto indicato nella riga non è danneggiato campire **Nulla**.

ALLEGATO MATERICO-DIAGNOSTICO			
DANNI A ELEMENTI STRUTTURALI	<input checked="" type="checkbox"/> Medio Grave	<input type="checkbox"/> Leggero	<input type="checkbox"/> Nullo

La compilazione dell'AMD non è prevista in caso di esito di agibilità "A: Edificio agibile" nella sezione 8 della relativa Scheda AeDES. Riportare nella Sezione 1 dell'Allegato materico-diagnostico l'esito di agibilità così come disposto nella scheda AeDES.

ESEMPIO

SCHADA AeDES					
SEZIONE 8 Giudizio di agibilità					
<i>Valutazione del rischio</i>				<i>Esito di agibilità</i>	
RISCHIO	STRUTTURALE (Sez. 3 e 4)	NON STRUTTURALE (Sez. 5)	ESTERNO (sez. 6)	GEO TECNICO (sez. 7)	
BASSO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	A Edificio AGIBILE <input type="checkbox"/>
BASSO CON PROVVEDIMENTI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	B Edificio TEMPORANEAMENTE INAGIBILE (tutto o parte) ma AGIBILE con provvedimenti di pronto intervento (1) <input type="checkbox"/>
ALTO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	C Edificio PARZIALMENTE INAGIBILE (1) <input checked="" type="checkbox"/>
					D Edificio TEMPORANEAMENTE INAGIBILE da rivedere con approfondimento <input type="checkbox"/>
					E Edificio INAGIBILE <input type="checkbox"/>
					F Edificio INAGIBILE per rischio esterno (1) <input type="checkbox"/>
<small>(1) riportare nella colonna argomento della Sez. 9 l'esito e nelle annotazioni le parti di edificio inagibili (esiti B, C) e la causa di rischio esterno (esito F)</small>					

ALLEGATO MATERICO-DIAGNOSTICO					
ESITO DI AGIBILITA	<input type="checkbox"/> B	<input checked="" type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> D	<input type="checkbox"/> E	<input type="checkbox"/> F

N.B.

La compilazione dell'AMD è prevista nei soli casi di dichiarazione di inagibilità per usufruire del tempo in cui l'edificio viene sottratto all'uso consueto. Tempo nel quale si può effettuare una campagna di misure diagnostiche di approfondimento. Pertanto, a seconda del tipo di inagibilità va considerato che:

- Inagibilità di tipo “B: Edificio temporaneamente inagibile, ma agibile con provvedimenti di pronto intervento” le indagini diagnostiche vanno effettuate entro e/o contestualmente alle operazioni di pronto intervento.
- Inagibilità di tipo “C: Edificio parzialmente inagibile” le indagini diagnostiche possono essere eseguite nella porzione dell’edificio dichiarata inagibile.
- Inagibilità di tipo “D: edificio temporaneamente inagibile da rivedere con approfondimento”, le indagini diagnostiche vanno effettuate entro e/o contestualmente ai successivi approfondimenti.
- Inagibilità di tipo “E: edificio inagibile”; le indagini diagnostiche possono essere effettuate senza limitazioni temporali stringenti.
- Inagibilità di tipo “F: edificio inagibile per rischio esterno”; le indagini diagnostiche possono essere effettuate senza limitazioni temporali stringenti.

SEZIONE 2_APPROFONDIMENTO MATERICO

Nella sezione 2 sono riportate le seguenti tabelle riguardanti le caratteristiche materiche dell’edificio:

- TABELLA 1_MURATURA: TESSITURA IRREGOLARE E DI CATTIVA QUALITÀ
- TABELLA 2_MURATURA: TESSITURA REGOLARE E DI BUONA QUALITÀ
- TABELLA 3_MURATURA: NON A VISTA
- TABELLA 4_STRUTTURE IN LEGNO
- TABELLA 5_ELEMENTI NOTEVOLI

Quando l’edificio oggetto del sopralluogo presenta muratura a vista, compilare la tabella 1 in presenza di muratura a tessitura irregolare e di cattiva qualità, spuntando l’opzione coerentemente con quanto compilato nella corrispondente Sezione 3 della Scheda AeDES.

ESEMPIO

SCHEDA AeDES

SEZIONE 3 Tipologia (multiscelta; per gli edifici in muratura indicare al massimo 2 tipi di combinazioni strutture verticali-solai)

Strutture verticali / Strutture orizzontali		Non identificate	Strutture in muratura						Altre strutture				
			A tessitura irregolare e di cattiva qualità (Pietrame non squadrato, ciottoli,...)		A tessitura regolare e di buona qualità (Blocchi; mattoni; pietra squadrata,...)		Pilastrini isolati	Mista	Rinforzata	Telai in c.a.	<input type="checkbox"/>		
			Senza catene o cordoli	Con catene o cordoli	Senza catene o cordoli	Con catene o cordoli				Pareti in c. a.	<input type="checkbox"/>		
		A	B	C	D	E	F	G	H	REGOLARITA'	Non regolare A	Regolare B	
1	Non Identificate	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	Forma pianta ed elevazione	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2	Volte senza catene	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	G1	H1	2	Disposizione tamponature	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3	Volte con catene	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Copertura 1 <input type="radio"/> Spingente pesante 2 <input type="radio"/> Non spingente pesante 3 <input type="radio"/> Spingente leggera 4 <input type="radio"/> Non spingente leggera			
4	Travi con soletta deformabile (travi in legno con semplice tavolato, travi e voltine,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NO	G2	H2				
5	Travi con soletta semirigida (travi in legno con doppio tavolato, travi e tavelloni,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
6	Travi con soletta rigida (solai di c.a., travi ben collegate a solette di c.a,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		G3	H3				

ALLEGATO MATERICO-DIAGNOSTICO

TABELLA 1_MURATURA: TESSITURA IRREGOLARE E DI CATTIVA QUALITÀ

Elementi lapidei	① Bozze non lavorate	② Ciottoli	③ Laterizi	④ Altri Elementi
Malte ⑤ Tradizionali <input type="checkbox"/> In buono stato di conservazione <input type="checkbox"/> In cattivo stato di conservazione	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
⑥ Stuccature recenti <input type="checkbox"/> In buono stato di conservazione <input type="checkbox"/> In cattivo stato di conservazione	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Quando l'edificio oggetto del sopralluogo presenta muratura a vista, compilare la tabella 2 in presenza di muratura a tessitura regolare e di buona qualità, spuntando l'opzione coerentemente con quanto compilato nella corrispondente Sezione 3 della Scheda AeDES.

ESEMPIO

SCHEDA AeDES

SEZIONE 3 Tipologia (multiscelta: per gli edifici in muratura indicare al massimo 2 tipi di combinazioni strutture verticali-solai)

Strutture verticali / Strutture orizzontali		Strutture in muratura							
		Non identificate	A tessitura irregolare e di cattiva qualità (Pietrame non squadrato, ciottoli,...)		A tessitura regolare e di buona qualità (Blocchi; mattoni; pietra squadrata,...)		Pilastrini isolati	Mista	Rinforzata
			Senza catene o cordoli	Con catene o cordoli	Senza catene o cordoli	Con catene o cordoli			
		A	B	C	D	E	F	G	H
1	Non identificate	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Volte senza catene	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	G1	H1
3	Volte con catene	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Travi con soletta deformabile (travi in legno con semplice tavolato, travi e voltine,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	G2	H2
5	Travi con soletta semirigida (travi in legno con doppio tavolato, travi e tavelloni,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	Travi con soletta rigida (solai di c.a., travi ben collegate a solette di c.a.,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	G3	H3

Altre strutture	
Telai in c.a.	<input type="checkbox"/>
Pareti in c. a.	<input type="checkbox"/>
Telai in acciaio	<input type="checkbox"/>

REGOLARITA'	Non regolare	Regolare
	A	B
1 Forma pianta ed elevazione	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2 Disposizione tamponature	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Copertura

1 <input type="radio"/> Spingente pesante
2 <input type="radio"/> Non spingente pesante
3 <input type="radio"/> Spingente leggera
4 <input type="radio"/> Non spingente leggera

ALLEGATO MATERICO-DIAGNOSTICO

TABELLA 2_MURATURA: TESSITURA REGOLARE E DI BUONA QUALITÀ

Elementi lapidei / Malte	①	②	③	④
	Blocchi	Laterizi	Pietra squadrata	Mista
⑤ Tradizionali <input type="checkbox"/> In buono stato di conservazione <input type="checkbox"/> In cattivo stato di conservazione	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
⑥ Stucature recenti <input type="checkbox"/> In buono stato di conservazione <input type="checkbox"/> In cattivo stato di conservazione	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Spessore dei giunti S	<input type="checkbox"/> S < 1 cm		<input type="checkbox"/> 1 cm < S < 3 cm	<input type="checkbox"/> S > 3 cm

N.B.

Nel caso in cui sull'edificio e nella Scheda AeDES siano presenti entrambe le tipologie di muratura, a tessitura irregolare e di cattiva qualità e a tessitura regolare e di buona qualità compilare entrambe le tabelle, Tabella 1 e Tabella 2.

ESEMPIO

SCHEDA AeDES

SEZIONE 3 Tipologia (multiscelta; per gli edifici in muratura indicare al massimo 2 tipi di combinazioni strutture verticali-solai)

Strutture verticali / Strutture orizzontali		Strutture in muratura								Altre strutture			
		Non identificate	A tessitura irregolare e di cattiva qualità (Pietrame non squadrato, ciottoli,...)				A tessitura regolare e di buona qualità (Blocchi; mattoni; pietra squadrata,...)				Telai in c.a.	REGOLARITA'	
			Senza catene o cordoli	Con catene o cordoli	Senza catene o cordoli	Con catene o cordoli	Pilastrini isolati	Mista	Rinforzata	Telai in c. a.	Non regolare	Regolare	
		A	B	C	D	E	F	G	H		A	B	
1	Non identificate	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
2	Volte senza catene	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	G1	H1				
3	Volte con catene	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
4	Travi con soletta deformabile (travi in legno con semplice tavolato, travi e voltine,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NO	G2	H2				
5	Travi con soletta semirigida (travi in legno con doppio tavolato, travi e tavelloni,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
6	Travi con soletta rigida (solai di c.a., travi ben collegate a solette di c.a,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		G3	H3				

Altre strutture		
Telai in c.a.	<input type="checkbox"/>	
Pareti in c. a.	<input type="checkbox"/>	
Telai in acciaio	<input type="checkbox"/>	
REGOLARITA'	Non regolare	Regolare
	A	B
1 Forma pianta ed elevazione	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2 Disposizione tamponature	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Copertura

1 <input type="radio"/> Spingente pesante
2 <input type="radio"/> Non spingente pesante
3 <input type="radio"/> Spingente leggera
4 <input type="radio"/> Non spingente leggera

ALLEGATO MATERICO-DIAGNOSTICO




TABELLA 1_MURATURA: TESSITURA IRREGOLARE E DI CATTIVA QUALITÀ

TABELLA 2_MURATURA: TESSITURA REGOLARE E DI BUONA QUALITÀ

TABELLA 1_MURATURA: TESSITURA IRREGOLARE E DI CATTIVA QUALITÀ


La prima parte della Tabella 1 è dedicata alla descrizione degli elementi lapidei e delle malte che compongono la muratura.

Gli elementi lapidei sono classificati per forma come bozze non lavorate, ciottoli, laterizi, altri elementi. La voce altri elementi lascia campo libero al compilatore per la rilevazione di elementi non esplicitamente definiti nella Tabella 1. Si propone di seguito una tabella esemplificativa per il riconoscimento delle tipologie di elementi lapidei.


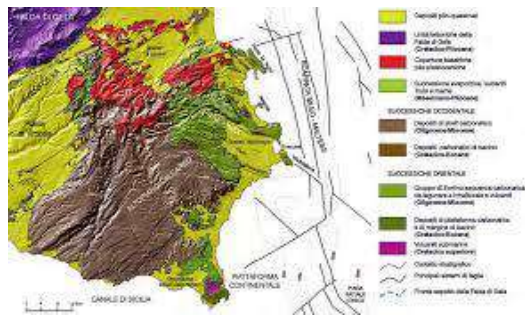




Elemento	Descrizione	Fotografia
Bozze non lavorate	Elementi in pietra di forma piuttosto casuale poiché non soggetti a lavorazione specifica prima della loro posa in opera.	
Ciottoli	Elementi in pietra di forma arrotondata.	
Laterizi (mattoni)	Elementi di forma regolare, realizzati in materiale ceramico. In una muratura a tessitura irregolare possono essere di reimpiego e presentarsi consumati o in stato frammentario.	

Per ognuno degli elementi compare associato un numero per le note a fine tabella. In nota occorre specificare il litotipo, o il materiale lapideo artificiale relativo alla tipologia di elemento rilevato in muratura.





ESEMPIO:

ALLEGATO MATERICO-DIAGNOSTICO				
TABELLA 1_MURATURA: TESSITURA IRREGOLARE E DI CATTIVA QUALITÀ <input checked="" type="checkbox"/>				
Elementi lapidei	① Bozze non lavorate	② Ciottoli	③ Laterizi	④ Altri Elementi
Malte				
⑤ Tradizionali <input type="checkbox"/> In buono stato di conservazione <input type="checkbox"/> In cattivo stato di conservazione	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
⑥ Stucature recenti <input type="checkbox"/> In buono stato di conservazione <input type="checkbox"/> In cattivo stato di conservazione	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
NOTE:				
① Litotipi individuati, in ordine decrescente di quantità in muratura: Calcare compatto, Travertino, Arenaria.				
②				
③ Materiale ceramico rosato, probabilmente di reimpiego.				
④ Blocchetti di Tufo, probabilmente di reimpiego.				
⑤				
⑥				
⑦				
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA				
				

Al fine di facilitare il riconoscimento dei litotipi in opera si consiglia di eseguire uno studio minimo, preliminare alla fase di sopralluogo e compilazione dell'AMD, sulla geo-litologia del territorio in esame e sulle risorse territoriali impiegate storicamente in edilizia. Si fornisce di seguito una scheda esemplificativa di raccolta delle informazioni necessarie.

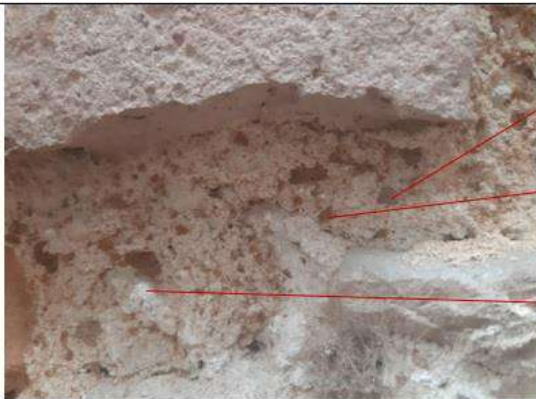
GEOLITOLOGIA E USO DEI MATERIALI LITICI NELL'AREA SISMICA DI RAGUSA- MODICA (SICILIA)			
			
<p>Carta Geologica della Sicilia 1: 250.000 e Schema Stratigrafico-Strutturale dell'Avampaese Ibleo (LENTINI CARBONE 2016)</p>			
Denominazione locale Litotipo	Descrizione geo-litologica	Utilizzo storico in Edilizia	Campione fotografico per il riconoscimento*
Calcarea franco	Calcarea fossilifera miocenica a grana arenacea fine e cemento intergranulare marnoso. Colore biancastro.	Costruzione Intaglio Scultura	
Pietra latina	Calcarea fossilifera miocenica a grana grossolana e cemento intergranulare calcareo. Colore bianco.	Costruzione Rivestimenti	
Pietra curruvara	Calcarea fossilifera miocenica a grana grossolana e cemento intergranulare calcareo con impregnazioni in silice. Colore giallastro-grigiastro.	Costruzione Rivestimenti	
Pietra pece	Calcarea fossilifera miocenica a grana grossolana e cemento intergranulare calcareo con impregnazioni in bitume. Colore bruno-nerastro.	Rivestimenti Pavimentazioni Scultura	 Campione Lastra pietra pece lucidata (Ragusa)
<p>Laddove non specificato i campioni fotografici rappresentano solo la tipologia di pietra, non esattamente la pietra locale che può presentare caratteristiche peculiari. I campioni fotografici sono estratti dalle litoteche online del sito ISPRA (www.isprambiente.gov.it/attivita/museo/collezioni-litomineralogiche/reperti_litologici)</p> <p>Bibliografia: LENTINI F., CARBONE S.; Geologia della Sicilia e della Carta Geologica della Sicilia 1:250000; Regione Sicilia; Università degli Studi di Catania, Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali; Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Catania, Osservatorio Etneo; 2016 REGIONE SICILIANA, ENTE MINERARIO SICILIANO; Schema di piano dei materiali lapidei di pregio, Studi di dettaglio e Caratterizzazione geolitologico-tecnica delle aree estrattive; L'uso dei materiali litici nell'edilizia storica siciliana, Ragusa e Modica, Siracusa e Noto; pp. 9-13</p>			

Le malte sono classificate per tipologia, Tradizionali o Stucature recenti, e per stato di conservazione, in buono o in cattivo stato di conservazione. Si propone di seguito una tabella esemplificativa per il riconoscimento delle tipologie di malte.

Tipo di malta	Descrizione	Fotografia
Malta tradizionale in buono stato di conservazione	Malta in genere a legante carbonatico (calce) e aggregato sabbioso, granuloso o realizzato con materiale di risulta. La valutazione dello stato di conservazione risiede nel livello del giunto rispetto alle componenti litiche/litoidi della muratura e nella compattezza al tatto.	
Malta tradizionale in cattivo stato di conservazione	Malta in genere a legante carbonatico (calce) e aggregato sabbioso, granuloso o realizzato con materiale di risulta. La valutazione dello stato di conservazione risiede nell'erosione del giunto rispetto alle componenti litiche/litoidi della muratura e nella tendenza allo sgretolamento al tatto.	
Stucature recenti in buono stato di conservazione	Malta a legante cementizio oppure aereo ma di nuova stesura. Se in buono stato di conservazione si nota un aspetto decisamente compatto, liscio e coprente.	
Stucature recenti in cattivo stato di conservazione	Malta a legante cementizio oppure aereo ma di nuova stesura. Se in cattivo stato di conservazione si notano fenomeni erosivi o efflorescenze saline.	

Per ognuna delle tipologie di malta compare associato un numero per le note a fine tabella. In nota si possono specificare ulteriori dettagli materici delle malte.

ESEMPIO

ALLEGATO MATERICO-DIAGNOSTICO				
TABELLA 1_MURATURA: TESSITURA IRREGOLARE E DI CATTIVA QUALITÀ <input checked="" type="checkbox"/>				
Elementi lapidei	① Bozze non lavorate	② Ciottoli	③ Laterizi	④ Altri Elementi
Malte				
⑤ Tradizionali <input type="checkbox"/> In buono stato di conservazione <input checked="" type="checkbox"/> In cattivo stato di conservazione	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
⑥ Stucature recenti <input type="checkbox"/> In buono stato di conservazione <input type="checkbox"/> In cattivo stato di conservazione	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
NOTE:				
① Calcare compatto.				
②				
③ Laterizi di colore rosato, presenti sia interi che in forma frammentaria.				
④ Frammenti di materiale ceramico (coppi e tegole).				
⑤ Malta a legante aereo. Presenti difetti del legante (calcinari : grumi di calce non carbonatata). Aggregato di granulometria da fine a grossolana (dimensione max. aggregato: diametro circa 5 mm). Natura dell'aggregato: frammenti di natura carbonatica e frammenti di materiale ceramico.				
⑥				
⑦				
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA				
				




N.B.

Nel contesto della stessa muratura possono coesistere giunti di malta di tipo tradizionale e stucature recenti, in buono o cattivo stato di conservazione. Si può quindi spuntare nella tabella ogni tipologia di malta rilevata.

ESEMPIO: Muratura a tessitura irregolare e di cattiva qualità composta da bozze non lavorate, legate con malta di tipo tradizionale in buono stato di conservazione. Sono state eseguite stucature recenti su alcuni ricorsi probabilmente degradati della malta tradizionale. Le stucature recenti si trovano in buono stato di conservazione.

ALLEGATO MATERICO-DIAGNOSTICO				
TABELLA 1_MURATURA: TESSITURA IRREGOLARE E DI CATTIVA QUALITÀ				
Elementi lapidei	① Bozze non lavorate	② Ciottoli	③ Laterizi	④ Altri Elementi
Malte				
⑤ Tradizionali				
<input checked="" type="checkbox"/> In buono stato di conservazione	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> In cattivo stato di conservazione				
⑥ Stucature recenti				
<input checked="" type="checkbox"/> In buono stato di conservazione	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> In cattivo stato di conservazione				

Per quanto concerne la registrazione del degrado nella tabella sono previste tre forme di degrado pregresso che possono aver determinato una fragilità intrinseca dell'edificio nei confronti dell'azione sismica: Erosione dei giunti, Degrado degli elementi lapidei (ad esempio scagliatura, fessurazione, forte erosione da specificare in nota a fine tabella), Mancanza di elementi lapidei. Si propone di seguito una tabella esemplificativa per il riconoscimento delle tipologie di degrado.

Degrado	Descrizione	Fotografia
Erosione dei giunti	Asportazione di materiale dalla superficie dovuta a processi di natura diversa. (NORMAL 1/88).	
Degrado degli elementi lapidei	<p>Per i degradi degli elementi lapidei si rimanda alle voci del Lessico NORMAL 1/88:</p> <ul style="list-style-type: none"> Alveolizzazione Disgregazione Erosione Fratturazione/fessurazione Polverizzazione Scagliatura 	
Mancanza di elementi lapidei	<p>Caduta e perdita di parti (NORMAL 1/88).</p> <p>Nel contesto sismico una mancanza pregressa di significative aree del paramento murario può rappresentare un elemento di grande vulnerabilità.</p> <p>Il sisma può produrre mancanza di elementi nella muratura a seguito di fenomeni espulsivi dei paramenti.</p>	

L'attribuzione di una stima di estensione dei degradi rilevati, riferita alla tipologia di muratura, si intende globale, ovvero riguardante tutte le porzioni ispezionate dell'edificio.

ESEMPIO





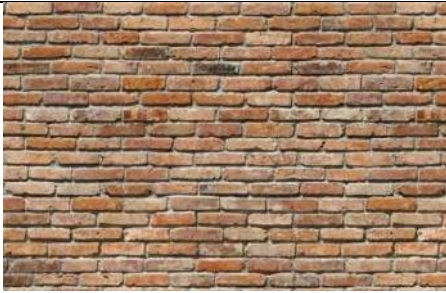


ALLEGATO MATERICO-DIAGNOSTICO			
TABELLA 1_MURATURA: TESSITURA IRREGOLARE E DI CATTIVA QUALITÀ 			
Degrado	Erosione dei giunti	⑦ Degrado degli elementi lapidei	Mancanza di elementi lapidei
Estensione E			
E < 10%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10% < E < 25%	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25% < E < 50%	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
50% < E < 75%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
E > 75%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
NOTE:			
①			
②			
③			
④			
⑤			
⑥			
⑦ Notevole tendenza alla fratturazione degli elementi lapidei in arenaria.			
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA			
		<p>Mancanza di elementi lapidei del paramento esterno dovuta a fenomeni espulsivi in corrispondenza del cordolo in c.a. come risposta all'azione del sisma.</p>	
		<p>Diffusi fenomeni di fratturazione degli elementi arenacei del paramento murario esterno.</p>	

TABELLA 2_MURATURA: TESSITURA REGOLARE E DI BUONA QUALITÀ

La prima parte della Tabella 2 è dedicata alla descrizione degli elementi lapidei e delle malte che compongono la muratura.


Gli elementi lapidei sono classificati per forma e tipologia come pietra squadrata, laterizi, blocchetti, mista. Si propone di seguito una tabella esemplificativa delle tipologie di elementi previste.

Elemento	Descrizione	Fotografia
Pietra squadrata	Elementi in pietra lavorata in forma di blocchi molto regolari (anche di grandi dimensioni), posti in opera per filari orizzontali.	
Laterizi	Elementi di forma regolare, realizzati in materiale ceramico, posti in opera per filari orizzontali.	
Blocchetti	Elementi in pietra di piccole dimensioni (lunghezza inferiore ai 30 cm), lavorati in forma abbastanza regolare, posti in opera per filari orizzontali o sub-orizzontali.	
Mista	Compresenza di elementi in pietra e ricorsi in laterizi posti in opera per filari orizzontali.	

Anche in tabella 2 ognuno degli elementi compare associato un numero per le note a fine tabella. In nota occorre specificare il litotipo, o il materiale lapideo artificiale relativo alla tipologia di elemento rilevato in muratura. Le malte seguono la medesima classificazione già presentata per la tabella 1. Essendo la muratura di tessitura regolare è prevista la registrazione dello spessore medio dei giunti di malta.

ESEMPIO: Muratura a tessitura regolare e di buona qualità composta da blocchetti in pietra calcarea e tufacea. I giunti di malta sono stati ristilati di recente (spessore medio circa 2 cm), con malta a legante cementizio. Le stuccature recenti si trovano in buono stato di conservazione.

ALLEGATO MATERICO-DIAGNOSTICO				
TABELLA 2_MURATURA: TESSITURA REGOLARE E DI BUONA QUALITÀ				
Elementi lapidei	① Pietra squadrata	② Laterizi	③ Blocchetti	④ Mista
Malte				
⑤ Tradizionali <input type="checkbox"/> In buono stato di conservazione <input type="checkbox"/> In cattivo stato di conservazione	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
⑥ Stuccature recenti <input checked="" type="checkbox"/> In buono stato di conservazione <input type="checkbox"/> In cattivo stato di conservazione	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Spessore dei giunti S	<input type="checkbox"/> S < 1 cm	<input checked="" type="checkbox"/> 1 cm < S < 3 cm	<input type="checkbox"/> S > 3 cm	

NOTE:
①
②
③ Blocchetti in calcare compatto bianco, calcare compatto rosato e tufo.
④
⑤
⑥ Ristilatura dei giunti con malta a legante cementizio.
⑦
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA


Per quanto concerne la registrazione del degrado, nella tabella 2 sono previste le medesime opzioni già esposte per la tabella 1.

TABELLA 3_MURATURA: NON A VISTA

Quando l'edificio oggetto del sopralluogo presenta muratura non a vista compilare la tabella 3, spuntando l'opzione coerentemente con quanto compilato nella corrispondente Sezione 3 della Scheda AeDES.

SCHEDA AeDES														
SEZIONE 3 Tipologia (multiscelta; per gli edifici in muratura indicare al massimo 2 tipi di combinazioni strutture verticali-solai)														
Strutture verticali \ Strutture orizzontali		Non identificate	Strutture in muratura				Pilastrini isolati	Mista	Rinforzata	Altre strutture				
			A tessitura irregolare e di cattiva qualità (Pietrame non squadrato, ciottoli,...)		A tessitura regolare e di buona qualità (Blocchi; mattoni; pietra squadrata,...)					Telai in c.a.	<input type="checkbox"/>			
			Senza catene o cordoli	Con catene o cordoli	Senza catene o cordoli	Con catene o cordoli				Telai in c. a.	<input type="checkbox"/>			
			A	B	C	D	E	F	G	H	Telai in acciaio	<input type="checkbox"/>		
1	Non identificate	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	REGOLARITA'	Non regolare	Regolare	
2	Volte senza catene	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	G1	H1	1	Forma pianta ed elevazione	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3	Volte con catene	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2	Disposizione tamponature	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4	Travi con soletta deformabile (travi in legno con semplice tavolato, travi e voltine,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NO	G2	H2	Copertura			
5	Travi con soletta semirigida (travi in legno con doppio tavolato, travi e tavelloni,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	<input type="radio"/> Spingente pesante		
6	Travi con soletta rigida (solai di c.a., travi ben collegate a solette di c.a.,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	G3	H3	2	<input type="radio"/> Non spingente pesante		
											3	<input type="radio"/> Spingente leggera		
											4	<input type="radio"/> Non spingente leggera		

ALLEGATO MATERICO-DIAGNOSTICO				
TABELLA 3_MURATURA: NON A VISTA <input checked="" type="checkbox"/>				
Spessore S	Tipologia intonaco	① Tradizionale		Non tradizionale
		Un livello	② Più livelli	

N.B.

Quando sull'edificio e nella Scheda AeDES sono presenti entrambe le tipologie di muratura, non a vista e a vista (a tessitura irregolare e di cattiva qualità o a tessitura regolare e di buona qualità) compilare entrambe le tabelle, Tabella 3 e Tabella 1 o Tabella 2.

ESEMPIO


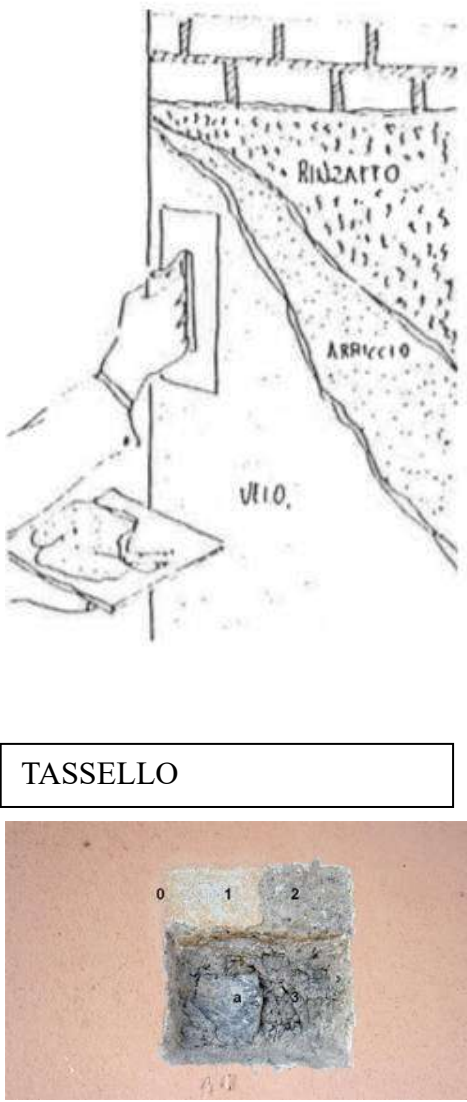

SEZIONE 3 Tipologia (multiscelta; per gli edifici in muratura indicare al massimo 2 tipi di combinazioni strutture verticali-solai)													
Strutture orizzontali \ Strutture verticali	Non identificate	Strutture in muratura							Altre strutture				
		A tessitura irregolare e di cattiva qualità (Pietrame non squadrato, ciottoli,...)		A tessitura regolare e di buona qualità (Blocchi; mattoni; pietra squadrata,...)		Pilastrini isolati	Mista	Rinforzata	Telai in c.a.	<input type="checkbox"/>			
		Senza catene o cordoli	Con catene o cordoli	Senza catene o cordoli	Con catene o cordoli				Pareti in c. a.	<input type="checkbox"/>			
		A	B	C	D	E	F	G	H	REGOLARITA'	Non regolare A	Regolare B	
1	Non Identificate	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	Forma pianta ed elevazione	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2	Volte senza catene	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	G1	H1	2	Disposizione tamponature	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3	Volte con catene	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Copertura 1 <input type="radio"/> Spingente pesante 2 <input type="radio"/> Non spingente pesante 3 <input type="radio"/> Spingente leggera 4 <input type="radio"/> Non spingente leggera			
4	Travi con soletta deformabile (travi in legno con semplice tavolato, travi e voltine,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NO	G2	H2				
5	Travi con soletta semirigida (travi in legno con doppio tavolato, travi e tavelloni,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
6	Travi con soletta rigida (solai di c.a., travi ben collegate a solette di c.a.,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		G3	H3				

ALLEGATO MATERICO-DIAGNOSTICO

TABELLA 1_MURATURA: TESSITURA IRREGOLARE E DI CATTIVA QUALITÀ <input checked="" type="checkbox"/>
TABELLA 3_MURATURA: NON A VISTA <input checked="" type="checkbox"/>

La prima parte della Tabella 3 è dedicata alla descrizione degli intonaci che coprono la muratura.

Gli intonaci sono classificati per tipologia come tradizionale e non tradizionale. Per l'intonaco tradizionale può essere rilevato se composto da uno o più livelli stratigrafici. Se rilevabile, è prevista la registrazione dello spessore. Si propone di seguito una tabella esemplificativa delle opzioni previste.

Elemento	Descrizione	Fotografia
Intonaco tradizionale	Strato di finitura composto in genere da malta di grassello di calce e aggregato sabbioso, di granulometria variabile in funzione della stratificazione (se presente).	
Stratificazione di un intonaco tradizionale	<p>Un intonaco eseguito a regola d'arte è composto da tre strati a partire dalla superficie del paramento murario:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. RINZAFFO: strato di preparazione composto da malta di calce e aggregato grossolano (talvolta ghiaioso). Spesso prima dell'applicazione dello strato successivo la superficie veniva martellata per favorirne l'adesione. 2. ARRICCIO: strato intermedio composto da malta di calce e aggregato grossolano e fine. 3. INTONACHINO (o VELO): strato più sottile di finitura superficiale composto da malta di calce e aggregato fine. <p>Il colore può essere reso in pasta nell'intonachino o applicato in velatura o scialbo, costituendo di fatto un quarto sottilissimo strato.</p>	
Intonaco non tradizionale	Strato di finitura composto da malta a legante cementizi e sabbia. Applicato a mano o a spruzzo. In genere non viene realizzato per strati ben definiti. Presenta coloriture composte da vernici di produzione industriale di colore molto saturo, opache e coprenti.	

Per i soli intonaci tradizionali ognuno compaiono associati due numeri per le note a fine tabella. In nota occorre specificare le caratteristiche materiche dell'intonaco, se composto da più strati, per ognuno degli strati rilevati va fornita una descrizione.

ESEMPIO

ALLEGATO MATERICO-DIAGNOSTICO			
TABELLA 3_MURATURA: NON A VISTA <input checked="" type="checkbox"/>			
Tipologia intonaco Spessore S	① Tradizionale		Non tradizionale
	Un livello	② Più livelli	
S < 3 cm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 cm < S < 5 cm	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
S > 5 cm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Spessore non rilevabile	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

NOTE:

① Intonaco tradizionale composto da malta di calce e aggregato di granulometria variabile, in funzione degli strati da ghiaiosa a molto fine.

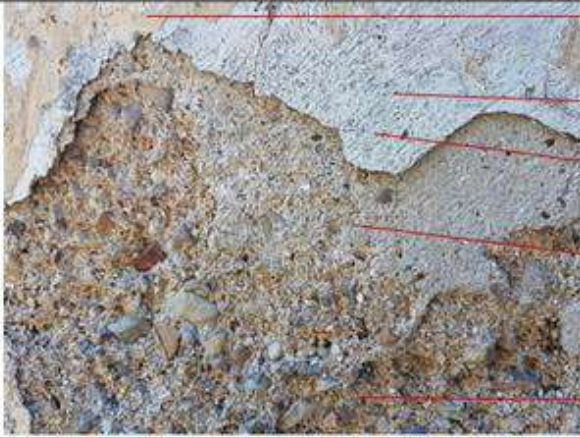
② Stratificazione rilevata a partire dal substrato:

- Rinzafo: malta di calce e ghiaia. Natura dell'aggregato di tipo carbonatico con colorazioni dal bianco al grigio al rossastro.
- Arriccio: malta di calce e aggregato grossolano. Natura dell'aggregato assimilabile a quella della ghiaia del rinzafo.
- Intonachino: malta di calce e sabbia fine. Natura dell'aggregato non rilevabile.

Preparazione di latte di calce bianco.
Tinta di recente stesura (probabilmente composta da materiale di origine industriale) di colore pesca chiaro.

③

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



→ Tinta

→ Preparazione

→ Intonachino

→ Arriccio


→ Rinzafo

N.B.


Nel contesto della stessa parete coesistere intonaco tradizionale e non tradizionale. Si può quindi spuntare nella tabella ogni tipologia di intonaco rilevato.

ESEMPIO: Intonaco non tradizionale steso al di sopra dell'intonaco proprio della fabbrica, di tipo tradizionale.

ALLEGATO MATERICO-DIAGNOSTICO			
TABELLA 3_MURATURA: NON A VISTA			
Tipologia intonaco Spessore S	① Tradizionale		Non tradizionale
	Un livello	② Più livelli	
S < 3 cm	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 cm < S < 5 cm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
S > 5 cm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Spessore non rilevabile	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA	
	<p>Intonaco non tradizionale</p> <p>Intonaco tradizionale</p> <p>Muratura in pietra squadrata</p>

Per quanto concerne la registrazione del degrado nella tabella sono previste due forme di degrado, progressivo o determinato - o aggravato - dall'azione del sisma: distacco o fessurazione/lesione. In presenza di distacco va specificato in nota a fine tabella se esso è avvenuto con o senza caduta di materiale, possibilmente s'identifica anche lo strato interessato dalla caduta. Si propone di seguito una tabella esemplificativa per il riconoscimento delle tipologie di degrado.

Degrado	Descrizione	Fotografia
Distacco	<p>Soluzione di continuità tra strati superficiali del materiale, sia tra loro che rispetto al substrato: prelude in genere alla caduta degli stessi (NORMAL 1/88).</p> <p>Nel caso in cui la caduta dello strato distaccato sia già avvenuta è opportuno denominare il degrado come distacco con caduta, specificando gli strati coinvolti (se esistenti), dal più superficiale intonachino, sino all'arriccio o al rinzaffo (perdita totale del rivestimento).</p> <p>N.B. Il distacco senza caduta è visibile solo in caso di fenomeni di spancimento, che non necessariamente si verificano. L'intonaco distaccato si sonda bussando la superficie.</p>	
Fessurazione Lesione	<p>Degradazione che si manifesta con la formazione di soluzioni di continuità nel materiale e che può implicare lo spostamento reciproco delle parti (NORMAL 1/88).</p> <p>Il termine Lesione non compare nel Lessico NORMAL in quanto manifestazione di un dissesto strutturale. È inserito nella tabella 3 perché a seguito di un evento sismico è prudentiale valutare l'origine strutturale di ogni lesione dell'intonaco, almeno in prima battuta.</p>	

La stima quantitativa dei degradi rilevati, riferita agli intonaci, si intende globale, ovvero riguardante tutte le porzioni ispezionate dell'edificio.

ESEMPIO


ALLEGATO MATERICO-DIAGNOSTICO		
TABELLA 3_MURATURA: NON A VISTA		
Degrado	③ Distacco	Fessurazione / Lesione
Estensione E		
E < 10%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10% < E < 75%	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
E > 75%	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
NOTE:		
①		
②		
③ Distacco con caduta completa dell'intonaco		
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA		
		

TABELLA 4_STRUTTURE IN LEGNO

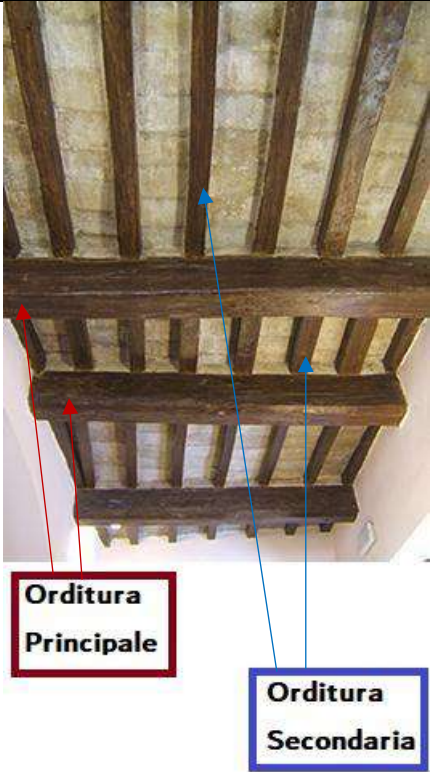
Nel caso in cui l'edificio oggetto del sopralluogo presenti strutture orizzontali in legno compilare la tabella 4, spuntando l'opzione coerentemente con quanto compilato nella corrispondente Sezione 3 della Scheda AeDES.

SEZIONE 3 Tipologia (multiscelta; per gli edifici in muratura indicare al massimo 2 tipi di combinazioni strutture verticali-solai)													
Strutture verticali / Strutture orizzontali		Non identificate	Strutture in muratura				Pilastrini isolati	Mista	Rinforzata	Altre strutture			
			Senza catene o cordoli	Con catene o cordoli	Senza catene o cordoli	Con catene o cordoli				Telai in c.a.	Pareti in c. a.	Telai in acciaio	
		A	B	C	D	E	F	G	H	REGOLARITA'	Non regolare A	Regolare B	
1	Non identificate	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	Forma pianta ed elevazione	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2	Volte senza catene	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	G1	H1	2	Disposizione tamponature	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3	Volte con catene	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Copertura 1 <input type="radio"/> Spingente pesante 2 <input type="radio"/> Non spingente pesante 3 <input type="radio"/> Spingente leggera 4 <input type="radio"/> Non spingente leggera			
4	Travi con soletta deformabile (travi in legno con semplice tavolato, travi e voltine,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	G2	H2				
5	Travi con soletta semirigida (travi in legno con doppio tavolato, travi e tavelloni,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
6	Travi con soletta rigida (solai di c.a., travi ben collegate a solette di c.a.,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		G3	H3				

ALLEGATO MATERICO-DIAGNOSTICO

TABELLA 4_STRUTTURE IN LEGNO			
Degrado	①		
Struttura	Elementi degradati		Elementi mancanti
Orditura Principale	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Orditura Secondaria	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Estensione del degrado	<input type="checkbox"/> 10-50%	<input type="checkbox"/> 50-75%	<input type="checkbox"/> >75%
NOTE:			
①			

La Tabella 4 è dedicata all'individuazione di elementi degradati o mancanti delle strutture orizzontali in legno in relazione all'orditura principale o secondaria. Si propone di seguito una tabella esemplificativa delle opzioni previste.

Orditura	Descrizione	Fotografia
Principale	Insieme delle principali travi portanti della struttura orizzontale lignea.	
Secondaria	Insieme delle strutture lignee che poggiano sull'orditura principale, ovvero travicelli e tavolato.	

Il degrado degli elementi lignei dipende fortemente dal contenuto di umidità nel materiale. L'umidità favorisce attacchi biodeteriogeni microbiologici o fungini che compromettono la resistenza delle strutture.

In particolare, le specie microbiche favoriscono fenomeni di marcescenza dei legni. Essendo spesso specie anaerobiche mettono particolarmente a rischio le zone non areate delle travi (testate immerse nella muratura, per poi colonizzare anche altre porzioni, seppure esposte all'aria).

Le specie fungine provocano fenomeni di cariatura e indebolimento strutturale delle travi. Molto ben riconoscibile è la carie bianca, dal colore della colonia infettiva.

Di non secondaria importanza sono gli attacchi ad opera di insetti xilofagi, quali tarli o termiti, che provocano veri e propri svuotamenti nel volume delle strutture.

Il degrado portato alle estreme conseguenze porta alla perdita totale degli elementi. In caso di azioni sismiche gli elementi già degradati in precedenza sono maggiormente soggetti a crolli, sfilamenti e/o spostamenti reciproci che compromettono la stabilità delle strutture orizzontali e talvolta dell'intero edificio.

In nota a fine tabella va specificata la tipologia di degrado rilevato.




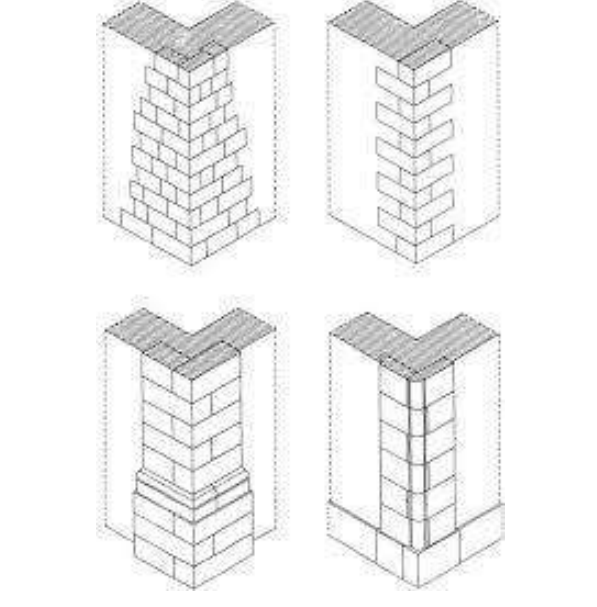

Degrado	Descrizione	Fotografia
Attacchi biodeteriogeni	Fenomeni di marcescenza innescati dalla presenza di umidità nel materiale. Il materiale appare più scuro, le superfici sono umide.	
Attacchi fungini	Fenomeni di caratura spesso contornati da aloni di colorazione chiara (esempio, carie bianca).	
Attacchi xilofagi	Fenomeni di svuotamento dovuti alla foratura e formazione di una rete di gallerie ad opera di insetti (tarli e termiti).	

TABELLA 5_ELEMENTI NOTEVOLI

Dopo aver raccolto tutti i dati sulla costituzione materica degli edifici la tabella 5 è dedicata alla registrazione degli elementi caratterizzanti l'architettura dell'edificio. Nella tabella sono già predisposti gli elementi più comuni nell'edilizia storica ordinaria ma possono essere registrati tutti gli altri elementi non previsti che a giudizio del compilatore connotano la fabbrica. Si propone di seguito una tabella esemplificativa delle opzioni previste.

Elemento	Descrizione	Fotografia
Cantonale	Soluzione d'angolo che assolve la funzione di collegamento e ammorsatura tra muri convergenti. Può assumere forme molto semplici di ingranamento tra conci squadrati o più complesse e caratterizzanti l'edificio	
Cornici	Elementi di inquadramento delle aperture, in pietra o in stucco, semplici o elaborate con modanature ed elementi decorativi. Elementi marcapiano della facciata.	

Portali	Elementi di inquadramento delle aperture al piano terra, in pietra o in stucco, semplici o elaborate con modanature ed elementi decorativi.	
---------	---	--

N.B.

Nella compilazione della Tabella 5 occorre comunque porre attenzione ai materiali utilizzati per la realizzazione degli elementi architettonici e possibilmente fornire una descrizione delle tecniche di lavorazione se identificabili a vista.

ALLEGATO MATERICO-DIAGNOSTICO

TABELLA 5 ELEMENTI NOTEVOLI

<input checked="" type="checkbox"/> Cantionali	Un solo cantonale realizzato con blocchi di pietra arenaria non perfettamente squadrate e di dimensioni molto diverse tra loro.
<input checked="" type="checkbox"/> Cornici	Cornice nella parte superiore della facciata realizzata con lastre di pietra arenaria in aggetto sorrette da mensole in pietra arenaria. Cornice semplice in pietra arenaria, finestra tamponata.
<input checked="" type="checkbox"/> Portali	Portale ad arco in pietra arenaria scolpita a bassorilievo.
<input checked="" type="checkbox"/> Decorativi/Altro	Decorazioni facciata in laterizio, di inquadramento del portale e della finestra sovrastante.

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



SEZIONE 3 PRESCRIZIONI PER LA DIAGNOSTICA

La compilazione della sezione 3 è concepita per orientare la scelta sulle indagini diagnostiche più utili per l'edificio in esame. Gli esiti possibili sono tre:

1. Progetto diagnostico conoscitivo
2. Verifica strutturale / progetto diagnostico conoscitivo
3. Verifica strutturale

Per progetto diagnostico conoscitivo si intende l'insieme di indagini scientifiche, opportunamente selezionate per le caratteristiche dell'edificio in esame, volte all'approfondimento della conoscenza dei materiali e delle tecniche costruttive ed esecutive di dettaglio utilizzate per la costruzione e per la realizzazione di eventuali fasi successive alla prima.

Per verifica strutturale si intende l'insieme di indagini scientifiche volte allo studio delle condizioni di stabilità dell'edificio in esame a seguito del danno subito durante l'evento sismico. Ne deriva che l'opzione n°1 sarà rivolta a quegli edifici in buone condizioni sia dal punto di vista dei danni sismici che dallo stato conservativo pregresso, i quali possono fornire informazioni molto affidabili sulle tradizioni costruttive locali.

L'opzione n°3 sarà rivolta a quegli edifici in peggiori condizioni dal punto di vista strutturale che necessitano di studi specifici per il loro consolidamento.

L'opzione n°2 è riservata alle condizioni intermedie tra i due casi estremi e prevede entrambi gli approcci diagnostici, progettati in modo da assolvere ad entrambe le esigenze.

L'esito è il risultato di un semplice calcolo nel quale entrano in gioco sia i dati relativi al danno registrati nella scheda AeDES che i dati relativi al degrado dei materiali registrati nell'AMD.

ALLEGATO MATERICO DIAGNOSTICO

SEZIONE 3 PRESCRIZIONI PER LA DIAGNOSTICA									
Componente Strutturale	Danno	Assente		Leggero		Medio Grave			
		Estensione del degrado		Estensione del degrado		Estensione del degrado			
		< 75%	>75%	10-50%	50-75%	>75%	10-50%	50-75%	>75%
Murature	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Strutture in legno	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Componente non strutturale	Danno	Assente				Presente (Lesioni)			
		Estensione del degrado				Estensione del degrado			
		< 75%	>75%	< 75%	>75%				
	Intonaci tradizionali	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Dati scheda AeDES

Dati Allegato materico Diagnostico

A seconda delle possibili combinazioni tra danno registrato nella scheda AeDES e degrado relativo alla stessa si ricade in una casella con un preciso punteggio assegnato, simboleggiato da un livello di grigio. Il punteggio complessivo è dato dalla somma dei valori di tutte le caselle di combinazione danno/degrado. Il punteggio va da 0 a 9. I range di punteggio ottenuto definiscono l'esito dell'allegato materico diagnostico.

<input type="checkbox"/>	0		Punteggio	ESITO
<input type="checkbox"/>	1		0-3	<input type="checkbox"/> Progetto diagnostico conoscitivo
<input type="checkbox"/>	2		4-5	<input type="checkbox"/> Verifica strutturale / progetto diagnostico conoscitivo
<input type="checkbox"/>	3		6-9	<input type="checkbox"/> Verifica strutturale

ESEMPIO ESITO 0-3 – Progetto diagnostico conoscitivo

L'edificio in esame presenta una muratura a tessitura irregolare e di scarsa qualità. Parte della struttura è intonacata. Sono presenti strutture orizzontali lignee.

SEZIONE 3 Tipologia (multiscelta; per gli edifici in muratura indicare al massimo 2 tipi di combinazioni strutture verticali-solai)												
Strutture verticali / Strutture orizzontali		Strutture in muratura										
		Non identificate		A tessitura irregolare e di cattiva qualità (Pietrame non squadrato, ciottoli,...)				A tessitura regolare e di buona qualità (Blocchi; mattoni; pietra squadrata,...)		Pilastrini isolati	Mista	Rinforzata
		A	B	C	D	E	F	G	H			
1	Non identificate	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	Volte senza catene	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	G1	H1	
3	Volte con catene	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	Travi con soletta deformabile (travi in legno con semplice tavolato, travi e voltine,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NO	G2	H2	
5	Travi con soletta semirigida (travi in legno con doppio tavolato, travi e tavelloni,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	Travi con soletta rigida (solai di c.a., travi ben collegate a solette di c.a.,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	G3	H3	

Altre strutture		
Telai in c.a.	<input type="checkbox"/>	
Pareti in c. a.	<input type="checkbox"/>	
Telai in acciaio	<input type="checkbox"/>	

REGOLARITA'	Non regolare		Regolare
	A	B	
1 Forma pianta ed elevazione	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
2 Disposizione tamponature	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

Copertura	
1 <input type="radio"/>	Spingente pesante
2 <input type="radio"/>	Non spingente pesante
3 <input type="radio"/>	Spingente leggera
4 <input type="radio"/>	Non spingente leggera

La muratura è realizzata in bozze di calcare compatto. La malta di allettamento è di tipo tradizionale e non si trova in una condizione conservativa ottimale. I giunti si presentano erosi sino a un metro di altezza dal basso, tanto che in alcune zone sono stati ripresi di recente. Anche le nuove stuccature soffrono però di fenomeni di degrado.

ALLEGATO MATERICO DIAGNOSTICO

TABELLA 1_MURATURA: TESSITURA IRREGOLARE E DI CATTIVA QUALITÀ

Elementi lapidei	① Bozze non lavorate	② Ciottoli	③ Laterizi	④ Altri Elementi
Malte				
⑤ Tradizionali <input type="checkbox"/> In buono stato di conservazione <input checked="" type="checkbox"/> In cattivo stato di conservazione	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
⑥ Stucature recenti <input type="checkbox"/> In buono stato di conservazione <input checked="" type="checkbox"/> In cattivo stato di conservazione	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Degrado	Erosione dei giunti	⑦ Degrado degli elementi lapidei	Mancanza di elementi lapidei	
Estensione E				
E < 10%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10% < E < 25%	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
25% < E < 50%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
50% < E < 75%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
E > 75%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
NOTE:				
① Bozze in calcare compatto.				
②				
③				
④				
⑤ Malta a base di calce aerea e aggregato di granulometria variabile di natura carbonatica				
⑥ Malta a base di legante cementizio e sabbia				
⑦				

La parte intonacata dell'edificio presenta un intonaco di tipo tradizionale con zone distaccate, alcune con caduta di materiale.

ALLEGATO MATERICO DIAGNOSTICO

TABELLA 3_MURATURA: NON A VISTA			
Tipologia intonaco Spessore S	① Tradizionale		Non tradizionale
	Un livello	② Più livelli	
S < 3 cm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 cm < S < 5 cm	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
S > 5 cm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Spessore non rilevabile	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Degrado Estensione E	③ Distacco		Fessurazione / Lesione
	E < 10%	<input type="checkbox"/>	
10% < E < 75%	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
E > 75%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

NOTE:

①② Intonaco a base di malta di calce aerea e aggregati di granulometria decrescente a partire dal substrato (presenti tre strati: rinzaffo, arriccio e intonachino) di natura carbonatica e artificiale (cocciopesto nel rinzaffo e nell'arriccio).

③ Distacco senza caduta e con caduta di materiale, in alcune zone totale, in altre del solo arriccio.

Le strutture lignee orizzontali esaminate presentano piccole aree degradate dell'orditura secondaria.

ALLEGATO MATERICO DIAGNOSTICO

TABELLA 4_STRUTTURE IN LEGNO			
Degrado Struttura	① Elementi degradati		Elementi mancanti
	Orditura Principale	<input type="checkbox"/>	
Orditura Secondaria	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Estensione del degrado	<input checked="" type="checkbox"/> 10-50%	<input type="checkbox"/> 50-75%	<input type="checkbox"/> >75%

NOTE:

① Aree circoscritte dei tavolati appaiono degradate, probabilmente in corso un attacco microbiologico.

In seguito all'evento sismico l'edificio non ha riportato danni alle componenti strutturali.

SCHEDA AeDES																
SEZIONE 4 Danni ad ELEMENTI STRUTTURALI e provvedimenti di pronto intervento (P.I.) eseguiti																
Livello - estensione	DANNO ⁽¹⁾										PROVEDIMENTI DI P.I. ESEGUITI					
	D4-D5 Gravissimo			D2-D3 Medio grave			D1 Leggero			Nullo	Nessuno	Demolizioni	Cerchiature e/o tiranti	Riparazione	Puntelli	Trasenne e protezione passaggi
	> 2/3	1/3 - 2/3	< 1/3	> 2/3	1/3 - 2/3	< 1/3	> 2/3	1/3 - 2/3	< 1/3							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	A	B	C	D	E	F
1	Strutture verticali	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Solai	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Scale	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Copertura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Tamponature-tramezzi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	Danno preesistente	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

(1) - Di ogni livello di danno indicare l'estensione solo se esso è presente. Se l'oggetto indicato nella riga non è danneggiato campire **Nullo**.

Sono stati registrati dei danni alle componenti non strutturali.

SCHEDA AeDES							
SEZIONE 5 Danni ad ELEMENTI NON STRUTTURALI e provvedimenti di pronto intervento eseguiti							
Tipo di danno	PRESENZA DANNO	PROVEDIMENTI DI P.I. ESEGUITI					
		Nessuno	Rimozione	Puntelli	Riparazione	Divieto di accesso	Trasenne e protezione passaggi
		B	C	D	E	F	G
1	Distacco intonaci, rivestimenti, controsoffitti...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Caduta tegole, comignoli...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Caduta cornicioni, parapetti...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Caduta altri oggetti interni o esterni	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Danno alla rete idrica, fognaria o termoidraulica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	Danno alla rete elettrica o del gas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

In funzione delle rilevazioni dei danni e delle osservazioni sul degrado dei materiali, il punteggio attribuito all'edificio è pari a 2. Infatti, la combinazione tra danni a componenti strutturali e degrado ricade sia per quanto concerne le murature che le strutture in legno in riquadri bianchi di valore numerico pari a 0 (si veda, per l'attribuzione del punteggio, la legenda in basso a sinistra nella sezione 3). Per quanto concerne l'analisi delle condizioni delle componenti non strutturali la combinazione è tra danno presente (intonaco lesionato) ma non particolarmente esteso. Tale combinazione ricade nel valore di grigio cui corrisponde un punteggio pari a 2. Dalla somma di tutti i contributi si ottiene:

0+0+2=2, valore che ricade nel range 0-3. L'esito delle prescrizioni per la diagnostica è quello di sviluppo di un progetto diagnostico conoscitivo.

ALLEGATO MATRICO DIAGNOSTICO									
SEZIONE 3_PRESCRIZIONI PER LA DIAGNOSTICA									
Componente Strutturale	Danno	Assente		Leggero			Medio Grave		
		Estensione del degrado		Estensione del degrado			Estensione del degrado		
		< 75%	>75%	10-50%	50-75%	>75%	10-50%	50-75%	>75%
	Murature	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Strutture in legno	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Componente non strutturale	Danno	Assente			Presente (Lesioni)				
		Estensione del degrado			Estensione del degrado				
		< 75%	>75%	< 75%	>75%	< 75%	>75%	< 75%	>75%
	Intonaci	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	0		Punteggio	ESITO					
<input type="checkbox"/>	1		0-3	<input checked="" type="checkbox"/> Progetto diagnostico conoscitivo					
<input type="checkbox"/>	2		4-5	<input type="checkbox"/> Verifica strutturale / progetto diagnostico conoscitivo					
<input type="checkbox"/>	3		6-9	<input type="checkbox"/> Verifica strutturale					

ESEMPIO ESITO 4-5 – Verifica strutturale/ Progetto diagnostico conoscitivo

Prendendo in esame lo stesso edificio del precedente esempio, si arriva all'attribuzione di un punteggio tra 4 e 5 nei casi in cui i danni riscontrati siano maggiori (es. danni leggeri alle componenti strutturali) e contemporaneamente il degrado sulle stesse componenti sia più esteso, oppure i danni alle componenti strutturali siano medio gravi, ma il degrado pregresso non sia particolarmente esteso. Infatti, nella seguente tabella esemplificativa di compilazione della sezione 3, la combinazione tra danni a componenti strutturali e degrado ricade sia per quanto concerne le murature che le strutture in legno in riquadri grigi di valore numerico pari a 1 (si veda, per l'attribuzione del punteggio, la legenda in basso a sinistra nella sezione 3). Per quanto concerne l'analisi delle condizioni delle componenti non strutturali la combinazione è tra danno presente (intonaco lesionato) ma non particolarmente esteso. Tale combinazione ricade nel valore di grigio cui corrisponde un punteggio pari a 2. Dalla somma di tutti i contributi si ottiene: $1+1+2=4$, valore che ricade nel range 4-5. L'esito delle prescrizioni per la diagnostica è quello di sviluppo di un progetto diagnostico conoscitivo coordinato con necessarie verifiche strutturali.

ALLEGATO MATRICO DIAGNOSTICO									
SEZIONE 3 PRESCRIZIONI PER LA DIAGNOSTICA									
Componente Strutturale	Danno	Assente		Leggero			Medio Grave		
		Estensione del degrado		Estensione del degrado			Estensione del degrado		
		< 75%	>75%	10-50%	50-75%	>75%	10-50%	50-75%	>75%
	Murature	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Strutture in legno	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Componente non strutturale	Danno	Assente				Presente (Lesioni)			
		Estensione del degrado				Estensione del degrado			
		< 75%		>75%		< 75%		>75%	
	Intonaci	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	0		Punteggio	ESITO					
<input type="checkbox"/>	1		0-3	<input type="checkbox"/> Progetto diagnostico conoscitivo					
<input checked="" type="checkbox"/>	2		4-5	<input checked="" type="checkbox"/> Verifica strutturale / progetto diagnostico conoscitivo					
<input type="checkbox"/>	3		6-9	<input type="checkbox"/> Verifica strutturale					

ESEMPIO ESITO 6-9 – Verifica strutturale

Prendendo in esame lo stesso edificio del precedente esempio, si arriva all'attribuzione di un punteggio da 6 a 9 nel caso in cui i danni alle componenti strutturali siano medio gravi e contemporaneamente il degrado pregresso sia particolarmente esteso. Infatti, nella seguente tabella esemplificativa di compilazione della sezione 3, la combinazione tra danni a componenti strutturali e degrado ricade sia per quanto concerne le murature che le strutture in legno in riquadri grigi di valore numerico pari a 2 (si veda, per l'attribuzione del punteggio, la legenda in basso a sinistra nella sezione 3). Per quanto concerne l'analisi delle condizioni delle componenti non strutturali la combinazione è tra danno presente (intonaco lesionato) ma non particolarmente esteso. Tale combinazione ricade nel valore di grigio cui corrisponde un punteggio pari a 2. Dalla somma di tutti i contributi si ottiene: $2+2+2=6$, valore che ricade nel range 6-9. L'esito delle prescrizioni per la diagnostica è quello di sviluppo di un progetto diagnostico orientato prioritariamente alle necessarie verifiche strutturali.

ALLEGATO MATRICO DIAGNOSTICO									
SEZIONE 3 _PRESCRIZIONI PER LA DIAGNOSTICA									
Componente Strutturale	Danno	Assente		Leggero			Medio Grave		
		Estensione del degrado		Estensione del degrado			Estensione del degrado		
		< 75%	>75%	10-50%	50-75%	>75%	10-50%	50-75%	>75%
	Murature	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Strutture in legno	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Componente non strutturale	Danno	Assente				Presente (Lesioni)			
		Estensione del degrado				Estensione del degrado			
		< 75%		>75%		< 75%		>75%	
	Intonaci	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	0		Punteggio	ESITO					
<input type="checkbox"/>	1		0-3	<input type="checkbox"/> Progetto diagnostico conoscitivo					
<input type="checkbox"/>	2		4-5	<input type="checkbox"/> Verifica strutturale / progetto diagnostico conoscitivo					
<input checked="" type="checkbox"/>	3		6-9	<input checked="" type="checkbox"/> Verifica strutturale					

In chiusura all'Allegato materico diagnostico si deve barrare l'opzione "Prescritte demolizioni o rimozioni di materiale" se ciò compare tra i provvedimenti di pronto intervento della scheda AeDES. Se si ritiene che da tali demolizioni o rimozioni possa essere ricavato materiale utile all'eventuale progetto diagnostico conoscitivo si barri l'opzione "Prelievo di materiale per indagini diagnostico conoscitive", precisando in nota le motivazioni della prescrizione.

2.1.3.3 Ricadute dell'uso dell'allegato materico-diagnostico

L'uso dell'Allegato Materico Diagnostico per tutti gli edifici storici ordinari di un centro storico può con la sola compilazione della sezione 2, Approfondimento Materico, fornire un quadro complessivo dei materiali e delle tecniche costruttive ricorrenti, nonché una valutazione generale dello stato conservativo del tessuto edilizio. La compilazione della Tabella 5, Elementi Notevoli, della stessa sezione in particolare, se dotata di accurate descrizioni per ogni elemento e di una soddisfacente documentazione fotografica allegata può complessivamente fornire un quadro delle forme e dell'utilizzo dei materiali. L'insieme dei dati raccolti costituisce la base per un sensibile aumento delle conoscenze sul tessuto edilizio storico locale in generale e per quanto concerne la gestione dell'emergenza sismica, un primo passo dell'indagine molto utile alla redazione dei piani di ricostruzione.

Le prescrizioni per la diagnostica orientano la scelta sull'approfondimento più opportuno. Non sono prescrizioni coercitive, tuttavia possono invitare a una maggiore attenzione all'aspetto conoscitivo dei materiali esaltando il valore documentale delle tradizioni costruttive. Non fornendo indicazioni specifiche su quale serie di indagini eseguire, ma indicando solo l'orientamento alla finalità conoscitiva o alla necessità di una diagnosi anche strutturale, si lascia ampio margine alla progettazione della campagna diagnostica. Questa flessibilità è molto utile al fine di una reale realizzazione degli interventi diagnostici che possono essere programmati in funzione di diverse esigenze delle amministrazioni locali, in relazione a fattori economici o a limiti imposti da tempistiche connesse alla gestione dell'emergenza.

Per tutti quei casi in cui venga prescritta una sovrapposizione delle indagini conoscitive sui materiali e delle verifiche strutturali si aprono interessanti scenari per la ricerca. Infatti, di solito le due tipologie di approccio diagnostico camminano in parallelo e non sono gestite coordinatamente. Sarebbe di grande interesse rendere più sistematico il completamento delle prove strutturali con le indagini di laboratorio, per valutare le caratteristiche chimico-fisiche dei materiali ed i corrispondenti riflessi

sulla resistenza e durabilità. In particolare, questa sovrapposizione di dati potrebbe fornire informazioni molto utili nella scelta o nella produzione di materiali per il consolidamento strutturale.

2.2 Diagnostica e recupero delle macerie

La gestione delle macerie è stata ad ogni sisma un tema delicato e ad oggi molto dibattuto in termini di riuso dei materiali, secondo i principi, ormai consolidati nel campo dello smaltimento dei rifiuti, dell'economia circolare. Dal sisma dell'Aquila del 2009 si è riaperto il dibattito sull'opportunità di selezionare le macerie degli edifici storici ed eventualmente reimmettere il materiale nel processo ricostruttivo¹³⁰. Anche grazie alle riflessioni maturate nel contesto dell'esperienza aquilana, in occasione del sisma che nel 2016 ha colpito il centro Italia, è stata emanata, contestualmente alle linee di indirizzo per la ricostruzione, una Direttiva del Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo che fornisce indicazioni specifiche sulla gestione delle macerie di interesse culturale, derivanti dal crollo di beni monumentali come di edifici del tessuto edilizio storico. Adeguatamente normata, la fase di recupero e rimozione delle macerie può rappresentare una grande occasione di conoscenza dei materiali tradizionali e di coinvolgimento della comunità locale, anche mediante la realizzazione di indagini diagnostiche per lo studio e la caratterizzazione dei materiali crollati.

2.2.1 La Direttiva MiBACT del 12/09/16: rimozione e recupero delle macerie.

La direttiva individua tre modalità distinte di rimozione delle macerie, due per i beni culturali e l'edilizia storica e una per gli edifici moderni privi d'interesse culturale:

- Le macerie derivanti dal crollo di beni monumentali tutelati sono classificate di tipo "A"
- Le macerie derivanti dal crollo di edifici del tessuto edilizio storico ordinari sono classificate di tipo "B"
- Le macerie derivanti dal crollo di edifici privi di interesse storico o culturale sono classificate di tipo "C"

L'individuazione dei gruppi di macerie come relative a un determinato edificio è affidata a squadre di tecnici impegnati in appositi sopralluoghi che hanno il compito di perimetrare i cumuli. L'individuazione dei cumuli di macerie viene guidata con riprese dall'alto mediante l'uso di droni. Sulle fotografie aeree viene effettuata una prima perimetrazione per via grafica che costituisce la base per le perimetrazioni a terra.

¹³⁰ PLACIDI 2015

Rimozione e recupero delle macerie di tipo A: beni tutelati

Preliminarmente alla rimozione delle macerie di tipo “A” si prevede la trasposizione a terra degli stessi perimetri individuati dalle fotografie aeree in fase di ricognizione. I perimetri possono essere trasposti con l’uso di picchetti o altre forme di individuazione. Successivamente si seguono le operazioni di salvaguardia *in situ* delle macerie. In primo luogo, si riaccorpano al cumulo di macerie perimetrato eventuali frange sparse al di fuori di esso. Si procede quindi a movimentare immediatamente le macerie che impediscono la normale viabilità. I cumuli devono tempestivamente essere coperti con teli protettivi. Laddove necessario si devono creare trincee per l’allontanamento delle acque meteoriche onde evitare ruscellamenti al di sotto dei cumuli. Una volta messe in sicurezza le macerie, si procede alla loro progressiva rimozione. Per ogni intervento si prevede lo spostamento temporaneo dei teli protettivi, la ripulitura delle macerie da materiali incongrui che vengono smaltiti con modalità ordinarie, la ripresa con drone del cumulo sulla quale mappare porzioni omogenee di parti strutturali, individuate con metodo stratigrafico, e di manufatti di interesse culturale. Questi vengono destinati ai depositi regionali per il ricovero dei beni mobili¹³¹. Le macerie vengono invece trasportate nei depositi regionali preposti al loro ricovero, previo imballaggio con provvedimenti reversibili nei casi in cui esso sia necessario per assicurarne l’integrità durante in trasporto¹³².

¹³¹ Dai primi giorni successivi al sisma del 24 Agosto 2016 in Centro Italia sono stati individuati dei depositi in cui ricoverare ed effettuare operazioni di pronto intervento sui beni mobili recuperati. In Abruzzo è stato individuato il deposito del Polo museale di Celano-Paludi, che assolve la stessa funzione già a seguito del sisma che colpì l’Aquila nel 2009. Per il Lazio è stato scelto un capannone industriale sino a quel momento utilizzato come autorimessa della Scuola del Corpo Forestale di Cittaducale (RI). Nelle Marche il comune di Ancona ha messo a disposizione gli ambienti della Mole Vanvitelliana. In Umbria era già stato predisposto prima degli eventi sismici un deposito in prossimità di Spoleto (località Santo Chiodo). La maggior parte dei beni mobili recuperati nelle quattro regioni è di provenienza ecclesiastica, inclusi gli arredi liturgici preziosi. I beni più danneggiati sono stati recuperati al di sotto delle macerie. Gli altri hanno riportato in molti casi solo danni lievi. Le operazioni di recupero e trasporto in deposito sono state effettuate quasi tutte entro i 12 mesi successivi al primo evento sismico con un’azione coordinata tra tecnici del MiBACT, Vigli del Fuoco, Carabinieri del Comando Tutela del Patrimonio e volontari della Protezione Civile. Per le operazioni di primo intervento, messa in sicurezza e gestione dei depositi e dei laboratori di restauro ivi allestiti hanno fornito supporto tecnico e scientifico l’Istituto Superiore per la Conservazione e il Restauro di Roma e l’Opificio delle Pietre di Firenze (RELAZIONE SEGRETARIATO GENERALE MiBACT).

¹³² Anche per le macerie di tipo “A” sono stati individuati dei depositi temporanei per il ricovero degli elementi pregiati. La regione Abruzzo ha predisposto più ricoveri diffusi sul territorio. Nella regione Lazio è stato individuato come deposito un hangar di proprietà dell’ENAC all’interno dell’aeroporto di Rieti. Nella regione Marche sono stati allestiti mediante la realizzazione di strutture protettive temporanee dei depositi presso gli stessi monumenti che hanno subito crolli. In Umbria le macerie di tipo “A” sono state ricoverate nell’area del deposito archeologico di Santa Scolastica della Soprintendenza ABAP in containers di sicurezza (RELAZIONE SEGRETARIATO GENERALE MiBACT).

Rimozione e recupero delle macerie di tipo B: edilizia storica

Anche per le macerie di tipo “B” sono previste le fasi preliminari alla rimozione di perimetrazione. Di competenza regionale o comunale è l’individuazione degli spazi in cui possano essere trasportate. Si raccomanda il recupero della maggior quantità possibile di:

- Materiale lapideo: apparato murario, stipiti e soglie di porte e finestre, cornici, mensole, camini, elementi decorativi, balconi.
- Ceramiche e coppi
- Legno lavorato
- Metalli lavorati
- Materiale di risulta

Si raccomanda l’associazione del materiale rimosso alla sua originaria collocazione mediante sovrapposizione della mappatura catastale sulle foto aeree riprese da drone e georeferenziate. Il materiale selezionato viene pertanto accatastato con riferimento alle particelle catastali.

Rimozione delle macerie di tipo C: edifici moderni privi di interesse culturale

La rimozione e lo smaltimento delle macerie di tipo “C” si effettua in modalità ordinarie con l’unica precauzione di verifica preliminare di commistioni o intersezioni con macerie di tipo “A” o “B”.

2.2.2 Ipotesi per la creazione di banche dati GIS based dei materiali della tradizione costruttiva locale

La direttiva MiBACT del 12/09/16 non fornisce ulteriori indicazioni sulle attività da svolgere nei depositi, se non quella di assicurare la tracciabilità del materiale trasportato e pertanto di organizzare lo stoccaggio delle macerie in modo da poterle associare all’edificio di provenienza. Eppure, i tempi lunghi di permanenza delle macerie nei depositi permetterebbero l’organizzazione di molte attività di grande interesse per lo studio dei materiali da costruzione storici. Alle attività di diagnostica applicabili alle macerie di tipo “A” è stato dedicato l’intero capitolo quinto di questa tesi. Per quanto concerne le macerie di tipo “B” si propongono di seguito delle indicazioni sulla diagnostica per la caratterizzazione dei materiali finalizzata alla creazione di *database* per la raccolta dei dati analitici sulle loro caratteristiche, utili a favorire il processo di conoscenza, attribuzione del valore identitario da parte della popolazione e sviluppo di manodopera specializzata nelle tecniche costruttive locali,

per una ricostruzione consapevole dell'edilizia storica e una manutenzione programmata degli edifici che resistono al sisma, come già auspicato nel paragrafo 2.1.3.

Come previsto dalla direttiva per la rimozione e il recupero delle macerie, occorre riferire i materiali rimossi alla documentazione fotografica aerea per la loro georeferenziazione. La documentazione fotografica aerea è prevista a più riprese. In una prima ricognizione il drone riprende e documenta i cumuli di macerie così come il sisma le ha prodotte. Sulle immagini fotografiche vengono ricavate graficamente delle prime perimetrazioni che individuano macerie appartenenti a singoli edifici, per quanto possibile. Tali perimetrazioni, riportate fisicamente a terra, contrassegnano il limite entro cui riaccorpere le macerie nella logica dell'individuazione degli edifici di provenienza. Nelle successive operazioni di accorpamento, liberazione da materiali privi di interesse storico, separazione e selezione di diversi elementi e materiali, ogni fase viene documentata fotograficamente da drone. Ci si trova quindi in presenza di più riprese che, sovrapponendosi sulla stessa area di georeferenziazione, documentano il progredire dei lavori di selezione e smaltimento delle macerie¹³³. Alle riprese aeree deve poi sovrapporsi la mappatura catastale. Si configura in tal modo un insieme di documenti sovrapponibili per l'archiviazione e consultazione dei quali è abbastanza immediato pensare alla creazione di un GIS¹³⁴.

A livello ministeriale i sistemi GIS sono in uso a partire dagli anni '90, quando l'allora ICR (Istituto Centrale del Restauro) realizzò il primo GIS "Carta del Rischio del Patrimonio Culturale"¹³⁵. Lo strumento consente di gestire dati relativi all'intero patrimonio culturale sul territorio nazionale al fine di calcolare il rischio di perdita dello stesso e fornire quindi indicazioni utili alla programmazione degli interventi preventivi¹³⁶. In emergenza sismica il sistema è stato utilizzato a partire dal sisma

¹³³ Questo è quanto previsto sulla carta in base alle prescrizioni della direttiva MiBACT del 12/09/16. Tale livello di documentazione non è stato in effetti raggiunto se non per pochi importanti casi di beni tutelati che hanno subito crolli estesi, come ad esempio la Chiesa di San Salvatore in Campi di Norcia. In questo caso la gestione del monumento è stata presa in carico dall'ISCR, che ha eseguito dettagliatamente tutti i rilievi previsti (<https://sansalvatoreincampi.beniculturali.it/it/144/i-rilievi>). Rimane comunque lodevole la metodologia indicata dal Ministero e si auspica una sempre maggiore applicazione, anche in base all'esperienza maturata a partire dal 2016, delle indicazioni ministeriali.

¹³⁴ GIS (Geographic Information System) è un sistema informativo che permette di associare ad una base cartografica georeferenziata dati geo-riferiti di natura spaziale e informativa, numerica o qualitativa. I GIS permettono quindi l'acquisizione, l'analisi, la consultazione, l'interrogazione e la presentazione di tutte le informazioni riferibili a un territorio. I primi sistemi GIS vengono sviluppati in ambito geografico alla fine degli anni '70, ma già dai primi anni '80 trovano applicazione in innumerevoli campi della ricerca scientifica tra cui l'archeologia. Negli anni '90 si è poi consolidato l'uso dei GIS per lo studio e la tutela dei Beni Culturali, con sviluppi ancora oggi in rapida evoluzione.

¹³⁵ ACCARDO, CACACE, RINALDI 2005

¹³⁶ Il rischio viene espresso in funzione delle componenti di vulnerabilità individuale del bene (esposizione ambientale ai fattori di pericolosità, caratteristiche costruttive, condizioni conservative) e di pericolosità territoriale (sismica, idrogeologica, ambientale in relazione alla qualità dell'aria e alla presenza di inquinanti,

aquilano del 2009 per la registrazione dei dati relativi alle attività di pronto intervento sui beni mobili. Nel 2016 è stata realizzata una apposita sezione denominata “Unità di Crisi” in cui, associate ai beni mobili, sono state registrate tutte le informazioni relative ai beni stessi, e sono stati geolocalizzati i loro “contenitori”, sia essi beni immobili di provenienza, che depositi temporanei¹³⁷. Il concetto di “contenitore” di beni mobili era già presente nella piattaforma ministeriale dell’Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione (ICCD) denominata SIGECweb. Anche all’interno dell’ambiente SIGECweb era presente una finestra web-GIS per la georeferenziazione dei beni catalogati o da catalogare¹³⁸. Dal 2012 i due sistemi informativi Carta del Rischio e SIGECweb sono stati resi interoperabili, insieme ad altri database ministeriali, mediante la creazione della piattaforma Vincoli in Rete, con l’immediato beneficio di una più efficiente digitalizzazione dei dati relativi al patrimonio culturale nonché sua gestione, soprattutto in fase emergenziale¹³⁹.

L’utilità dei sistemi GIS non risiede però solo nella gestione del patrimonio culturale. Sono ormai da tempo ben note le applicazioni dei sistemi GIS così detti “verticali”, ovvero riferiti non ad una base cartografica, ma al rilievo di strutture in elevato, nati quindi per soddisfare esigenze di registrazione dei dati riguardanti l’architettura. Importanti risultati sono stati ottenuti in tal senso presso l’Istituto per le Tecnologie Applicate ai Beni Culturali del Consiglio Nazionale delle Ricerche (ITABC – CNR). Tra la fine degli anni ‘90 e la prima metà degli anni 2000 è stato sviluppato e implementato un sistema informativo denominato ARKIS (Architecture Recovery Knowledge Information System), un prodotto all’epoca innovativo che trasferiva le funzionalità dei GIS alla scala architettonica del singolo edificio mettendo le forme grafiche canoniche della rappresentazione dell’architettura al posto delle basi cartografiche normalmente usate nei GIS¹⁴⁰. Le categorie di metadati implementabili nel sistema erano di varia natura: dai dati anagrafici a quelli fotografici e alfanumerici come le informazioni relative ai materiali, alle tecniche costruttive, all’analisi storico-architettonica, al degrado e agli interventi di restauro¹⁴¹.

Dal punto di vista della diagnostica per lo studio e la caratterizzazione dei materiali in opera, i GIS verticali hanno rappresentato, e rappresentano tuttora, un importante strumento di comunicazione e

antropica). Per approfondimenti sul complesso schema logico di implementazione ed elaborazione dei dati in “Carta del Rischio” si rimanda a CACACE 2019.

¹³⁷ CACACE 2019

¹³⁸ NEGRI 2014

¹³⁹ Il sistema Vincoli in Rete ha reso interoperabili anche dati ministeriali differenti che contenevano dati sui medesimi beni culturali la cui gestione perseguiva finalità istituzionali diverse. I sistemi informativi collegati e razionalizzati dalla piattaforma Vincoli in Rete sono: il Sistema Informativo Carta del Rischio (ICR), il Sistema Informativo Beni Tutelati (DG ABAP), il Sistema Informativo SITAP (DG ABAP), il Sistema Informativo SIGECweb (ICCD) (vincoliinrete.beniculturali.it).

¹⁴⁰ SALONIA 2003

¹⁴¹ SALONIA, NEGRI 2001

interpretazione del dato scientifico in relazione all'analisi storico-critica e tecnico-costruttiva dell'edificio in esame. La sovrapposizione di informazioni eterogenee diventa essa stessa uno strumento di analisi per giungere agevolmente alla "diagnosi". È il caso della proposta di "cartella clinica" per la Basilica di S. Maria di Collemaggio, sviluppata in seno alle ricerche di dottorato dell'attuale Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura¹⁴². Lo studio della facciata policroma della basilica è stato condotto con minuziosa attenzione alla documentazione dei materiali in opera, riferendo i dati ai singoli conci del paramento murario e agli elementi architettonici (portali, rosoni, cornici, colonne, basi e capitelli). Anche i punti di prelievo di materiale, per i saggi conoscitivi eseguiti, sono stati localizzati con precisione, specificandone il tipo di indagine e lo scopo perseguito. Lo studio rappresenta pertanto un brillante esempio di gestione dei dati analitici in relazione alla conoscenza dell'architettura.

Ben diverso è lo scenario in cui si inserirebbe un GIS dedicato alla localizzazione dei dati analitico-diagnostici relativi ai materiali in forma di macerie e, ovviamente, diverse sarebbero le finalità perseguite. Esse sono connesse con le esigenze di conoscenza dei materiali della tradizione costruttiva locale. Si parla spesso di riuso dei materiali per la ricostruzione e dei vantaggi che questo comporterebbe. Certamente un recupero selettivo delle macerie permette il raggiungimento della quota del 70% in peso dei rifiuti da costruzione e demolizione indicata dalla Direttiva CE 98/2008. Contemporaneamente impedisce la dispersione o la distruzione delle componenti materiche di interesse storico. Ma quanti degli elementi recuperati potranno poi in effetti essere reimpiegati nella ricostruzione e, soprattutto, come non è affatto facile prevederlo. L'utilità di studiare i materiali recuperati e di relazionare i risultati analitici al luogo su cui le macerie sono state raccolte risiede non tanto in un loro possibile riutilizzo nell'edificio da ricostruire ma nella conoscenza delle caratteristiche materiche utili in fase di ricostruzione.

Nelle "Linee di indirizzo metodologiche e tecniche per la ricostruzione del patrimonio culturale danneggiato dal sisma del 24 agosto 2016 e seguenti", emanate dal MiBACT, si raccomanda *"l'utilizzo della muratura, delle tecniche e dei materiali della tradizione costruttiva locale"*. Anche nel caso di ricostruzione completa di un edificio si prescrive *"il rispetto dei valori dell'edificato preesistente"* tra i quali compaiono non solo i valori volumetrici, spaziali e tipo-morfologici, ma anche materici e costruttivi. Al fine del raggiungimento di tali obiettivi viene indicato il *"sistematico lavoro di studio e ricerca della cartografia storica, di vedute, stampe, immagini fotografiche, scritti"*

¹⁴² La sperimentazione del GIS verticale sulla Basilica di S.M. di Collemaggio è stata condotta dall'Arch. Carla Bartolomucci nell'ambito del suo Dottorato di Ricerca presso l'allora Dipartimento di Storia dell'architettura, restauro e conservazione dei beni architettonici dell'Università di Roma "La Sapienza", con tutori Giovanni Carbonara, Donatella Fiorani e Giorgio Torraca (BARTOLOMUCCI 2004).

e, più in generale, dei materiali documentari in grado di restituire la storia, la consistenza e le modifiche antiche e recenti, tanto del tessuto urbano quanto dei singoli edifici”. Tuttavia, non può e non deve essere trascurata l’opportunità, per quanto concerne la componente materica, di studio diretto dei materiali, a maggior ragione dal momento che lo stesso MiBACT fornisce indicazioni ben precise sulle modalità di recupero delle macerie. Chiaramente l’informazione ricavata dal campionamento e analisi diagnostica dei materiali in forma di maceria, va organizzata in una banca dati dei materiali della tradizione locale, di cui si sente l’esigenza anche in termini d’innovazione tecnologica nel settore delle costruzioni, per il riutilizzo di materiale che andrebbe altrimenti smaltito in discarica, in linea con i criteri dell’economia circolare¹⁴³.

Tale banca dati, se sviluppata mediante l’uso di un sistema GIS, potrebbe associare su base cartografica catastale i livelli di documentazione cronologica delle fasi da prima del sisma a ricostruzione avvenuta:

- Mappatura satellitare della situazione prima del sisma.
- Documentazione in ripresa aerea da drone delle fasi di ricognizione e rimozione delle macerie.
- Documentazione in ripresa aerea da drone delle fasi di cantiere di ricostruzione.
- Documentazione in ripresa aerea da drone a ricostruzione ultimata.

A questo insieme di dati andrebbero ad aggiungersi, in associazione alle singole particelle catastali le seguenti categorie di informazioni.

- Dati relativi allo studio dello sviluppo storico e delle trasformazioni del tessuto urbano (cartografie, fotografie e documenti storici).
- Caratteristiche macroscopiche dei materiali: individuabili mediante l’analisi a vista nella fase di selezione documentata delle macerie.
- Caratteristiche microscopiche dei materiali: raccolta dei risultati delle indagini diagnostiche effettuate sui materiali.

Contando sulla cospicua quantità di macerie prodotte da un sisma si può pianificare il campionamento per le indagini diagnostiche dei seguenti materiali, così come indicati come macerie di tipo “B” nella direttiva MiBACT del 12/09/16:

- Materiale lapideo proveniente dagli apparati murari
- Materiale lapideo costituente stipiti, cornici, mensole ed elementi decorativi
- Materiali ceramici
- Materiali lignei

¹⁴³ ANGELUCCI ET AL. 2018

- Materiali metallici

Per ognuna di queste categorie, preliminarmente al campionamento per le indagini diagnostiche, è opportuno individuare trasversalmente i gruppi con caratteristiche macroscopiche comuni, come, ad esempio, il litotipo per i materiali lapidei, la forma, il tipo di lavorazione, la funzione specifica. Tali raggruppamenti visualizzati assieme alle informazioni relative allo sviluppo storico del tessuto urbano, possono complessivamente fornire il quadro storico-diacronico delle tradizioni costruttive locali. Le caratteristiche microscopiche forniscono invece dati sull'individuazione specifica dei materiali e delle loro lavorazioni completando il quadro con l'evoluzione dello sfruttamento delle risorse territoriali e delle lavorazioni artigianali. Per ognuna delle categorie sopra elencate si forniscono le finalità specifiche delle indagini diagnostiche.

Materiale lapideo proveniente dagli apparati murari

- Individuazione esatta del litotipo utilizzato in muratura (analisi petrografica mediante osservazione in sezione sottile al microscopio ottico polarizzatore, XRD)
- Ricognizione delle cave di provenienza (analisi petrografica mediante osservazione in sezione sottile al microscopio ottico polarizzatore, XRD, datazione radiometrica)¹⁴⁴

Materiale lapideo costituente stipiti, cornici, mensole ed elementi decorativi

Le stesse finalità delle indagini sul materiale lapideo proveniente dagli apparati murari valgono anche per questa categoria. Si possono aggiungere indagini rivolte alla caratterizzazione dei segni di lavorazione sulle superfici che a livello microscopico che forniscono indicazioni integrative rispetto a quanto osservabile macroscopicamente. I segni microscopici possono rivelarsi caratteristici e utili a distinguere la bottega di produzione artigianale dei manufatti.

Materiali ceramici

- Individuazione dei siti di approvvigionamento delle argille e studio del processo di lavorazione degli impasti (analisi petrografica mediante osservazione in sezione sottile al microscopio ottico polarizzatore, XRD)

¹⁴⁴ Sullo sviluppo di soluzioni GIS based che mettano in relazione i materiali utilizzati nell'architettura storica e la ricognizione delle risorse litologiche territoriali si veda ARGENTO 2020.

- Determinazione della temperatura di cottura e della composizione atmosferica in fornace, individuazione della tipologia delle fornaci attive sul territorio (analisi chimiche per la determinazione degli ossidi)

Materiali lignei

- Individuazione delle diverse essenze lignee utilizzate localmente, storia dello sfruttamento delle aree boschive locali (caratterizzazione in microscopia ottica)
- Datazione degli elementi lignei (radiocarbonio, dendrocronologia)

Materiali metallici

- Caratterizzazione delle leghe metalliche (analisi chimiche dei rapporti tra gli elementi in lega)
- Studio delle caratteristiche della lavorazione delle superfici metalliche, individuazione delle lavorazioni artigianali (FEG)

2.3 Droni e robot per le emergenze

Si è largamente discusso delle possibilità e utilità di applicazione delle tecnologie analitiche per la diagnostica dei materiali e delle strutture in emergenza sismica, nonché delle tecnologie informatiche nel precedente paragrafo. Il grande sviluppo dei settori della dronica e della robotica negli ultimi vent'anni ha prodotto tecnologie utili anche nel settore della protezione e dello studio dei beni culturali. Si fornisce nei seguenti paragrafi una panoramica delle esperienze acquisite sull'uso di queste tecnologie, soprattutto nell'ambito della gestione dell'emergenza post-sisma nel 2016 e 2017 in centro Italia e si discutono i potenziali sviluppi per il futuro.

2.3.1 Droni: esperienze acquisite e potenzialità future

Nella fase emergenziale dei recenti terremoti che hanno colpito il centro Italia, i droni sono stati molto utilizzati per il controllo dei beni monumentali e degli edifici storici danneggiati, anche perché il loro uso è entrato a far parte delle procedure di ricognizione aerea dei danni, come normato dalle stesse direttive ministeriali. Ognuno dei monumenti di principale importanza che abbia subito crolli è stato largamente ispezionato dall'alto e internamente, con notevoli ricadute sull'interpretazione delle dinamiche dei crolli e sulla progettazione delle opere di messa in sicurezza¹⁴⁵. Chiaramente, i vantaggi dell'ispezione del monumento danneggiato con drone risiedono nella contemporanea rapidità di esecuzione delle riprese, garanzia di sicurezza degli operatori, semplice logistica delle operazioni e immediata disponibilità di un prodotto altamente affidabile nelle informazioni che fornisce, ancor prima delle successive rielaborazioni dei dati. In effetti, nell'immediato, dalla semplice osservazione delle video-ispezioni (sai in esterno che negli interni di edifici danneggiati) è stato possibile chiarire numerosi aspetti legati all'interpretazione del danno e all'individuazione dei cinematismi che si sono attivati durante le scosse sismiche grazie all'osservazione ravvicinata dei fenomeni fessurativi¹⁴⁶.

¹⁴⁵ Si segnalano di seguito alcuni tra i più significativi documenti video girati da drone nelle aree del sisma in centro Italia pubblicati online dal Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco (data ultima consultazione 20/07/20):

https://www.youtube.com/watch?v=Iq_9Vx8I19g

<https://www.youtube.com/watch?v=XMjBkUguOcU>

<https://www.youtube.com/watch?v=k9I-YpPHSkQ>

<https://www.youtube.com/watch?v=o2fvYaJWACY>

Di seguito il link al video pubblicato dall'ICR che documenta le fasi di rilievo da terra e con drone della Chiesa di San Salvatore in Campi di Norcia (data ultima consultazione 20/07/20):

<https://www.youtube.com/watch?v=jZVfj2JcDS8>

¹⁴⁶ GIOVAGNOLI, DORE, MONTELEONE 2018

L'uso dei droni non si è limitata però alla sola ricognizione e interpretazione di danni. Già da un decennio è tecnicamente possibile l'esecuzione di rilievi speditivi con drone. L'elaborazione *software* delle immagini ad alta risoluzione, mediante tecniche di fotogrammetria digitale, restituiscono modelli 3D a nuvola di punti di altissima precisione¹⁴⁷. La rapidità di esecuzione delle misure e di elaborazione delle immagini digitali ha permesso di rilevare parte dei monumenti danneggiati in occasione dei sismi del 2016 e 2017, anche in piena emergenza, documentando lo stato di fatto dei crolli e la disposizione delle macerie (Fig. 2.3.1).

Per quanto concerne la gestione delle macerie, come già scritto, l'uso dei droni è stato esplicitamente richiesto dalla Direttiva MiBACT del 12/09/16. La metodologia di documentazione dall'alto della progressiva rimozione delle macerie è stata mutuata dal già consolidato uso delle tecnologie APR sugli scavi archeologici¹⁴⁸. La topografia del terreno portata alla luce dopo la rimozione di ogni unità stratigrafica, tradizionalmente rilevata da terra, viene oggi comodamente documentata dall'alto mediante l'uso dei droni e restituita in 3D con elaborazione *software* delle immagini¹⁴⁹. Sebbene con i dovuti distinguo con lo scavo archeologico, il metodo applicato è stato comunque utile a documentare le fasi di rimozione delle macerie (Fig. 2.3.2.). La documentazione potrebbe e dovrebbe consistere non solo nell'accurato rilievo dei lavori di selezione dei materiali, ma anche in un documento preliminare alla definizione dei progetti di restauro in quanto, almeno per alcuni aspetti, ripercorre le logiche di lettura per stratigrafia dei crolli, già consolidate in ambito archeologico¹⁵⁰.

Dall'analisi delle succitate esperienze condotte durante l'emergenza sismica del 2016 e 2017 in centro Italia, l'uso dei droni può essere definito per quattro principali tipologie di intervento:

- Ricognizione dei danni nell'immediato post-sisma mediante una visione d'insieme dall'alto
- Supporto alle fasi di rilievo del danno e interpretazione dei cinematismi attivatisi durante il sisma
- Rilievo aerofotogrammetrico digitale degli edifici danneggiati e della distribuzione a terra delle macerie, finalizzato allo studio delle dinamiche di crollo e alla progettazione degli interventi di messa in sicurezza

¹⁴⁷ Per approfondimenti si rimanda a GRASSI, SANTARSIERO, SIRIGU 2019.

¹⁴⁸ L'acronimo APR sta per Aeromobili a Pilotaggio Remoto e si usa per indicare i droni di ogni tipo e dimensione. La sigla internazionale corrispondente è UAV (Unmanned Aerial Vehicle).

¹⁴⁹ MINUCCI 2018

¹⁵⁰ ARGENTI ET AL. 2017

- Rilievo e documentazione delle fasi di perimetrazione e smaltimento delle macerie dell'edilizia storica e monumentale

Rispetto alle operazioni condotte dopo il sisma che colpì l'Aquila nel 2009, quando vennero effettuate le prime applicazioni in emergenza¹⁵¹, si è registrato un notevole progresso dell'uso delle tecnologie APR. Tuttavia, i droni non sono stati ancora utilizzati al massimo delle loro potenzialità, perlomeno in campo diagnostico. La maggior parte delle fotocamere integrate ai droni sono infatti equipaggiabili con sensoristica per il monitoraggio di prossimità. In particolare, nel campo dei beni culturali sono stati già utilizzati sensori termici per la rilevazione della componente infrarossa emessa per effettuare termovisioni. Tali sistemi non sono ancora particolarmente impiegati in emergenza sismica, ma il loro uso sarebbe ottimale in tutti quei casi in cui la visione termografica potrebbe dare un apporto significativo all'individuazione di presidi antisismici o di vulnerabilità nei beni danneggiati dal sisma, come esposto nel paragrafo 2.1.2.2.

Altri sensori implementabili su drone sono quelli per le riprese in multispettrale. Un sensore multispettrale è in grado di registrare le componenti spettrali, riflesse dalla materia, nella banda del visibile e in quelle del vicino infrarosso e vicino ultravioletto. Tale sensoristica è già in uso su drone per esempio nel settore agrario, per monitorare lo stato di salute delle colture. Nel campo dei beni culturali la visione multispettrale è molto utilizzata per la registrazione da fotocamera di immagini diagnostiche in falso colore delle caratteristiche superficiali¹⁵². Le componenti di radiazione infrarossa e ultravioletta riflesse aiutano a individuare la presenza di materiali organici di sintesi o naturali. Sebbene questo livello di dettaglio dell'informazione analitica possa sembrare superfluo in situazioni di emergenza sismica, occorrerebbe riflettere sulle opportunità offerte dall'individuazione rapida di zone trattate in passato con materiali chimici di sintesi, indicatori di interventi di restauro recenti, o di componenti edilizie, soprattutto lignee, affette da infezioni di natura microbiologica.

Applicazione di frontiera in emergenza sismica sarebbe poi quella dell'uso dei microdroni, classificati dalla normativa ENAC come APR di peso inferiore ai 0,3 kg. Sempre dotati di un sistema di protezione delle eliche, date le loro ridotte dimensioni, sarebbero perfetti per tutte le necessarie ispezioni in spazi ridotti e non accessibili per motivi di sicurezza, come ad esempio i sottotetti, per i quali si è già ipotizzata l'ispezione con drone nel paragrafo 2.1.2.2. Nonostante le loro ridotte dimensioni, i microdroni sono comunque equipaggiati con fotocamere, non altrettanto performanti

¹⁵¹ PARENTI, VECCHI, GILENTO 2010

¹⁵² LUDWIG 2015

rispetto a quelle montate su droni più grandi, ma comunque in grado di restituire immagini di alta risoluzione.



Figura 2.3.1 Modello 3D navigabile online della chiesa di S. Francesco di Amatrice derivante dall'integrazione dei rilievi fotogrammetrici da drone (https://www.gter.it/3dhosting/rilievi_terremoto) (data ultima consultazione 20/07/20)



Figura 2.3.2 Documentazione fotografica dello stato di crollo e distribuzione delle macerie a terra della chiesa di San Salvatore in Campi di Norcia, riferita a rilievo in pianta da drone (visione d'insieme). (sansalvatoreincampi.beniculturali.it) (data ultima consultazione 20/07/20)

2.3.2 Robotica per i beni culturali in emergenza sismica

Un settore in grande sviluppo al giorno d'oggi è quello della robotica e dell'intelligenza artificiale nell'assistenza alle attività umane. I settori che vedono attualmente le maggiori applicazioni di queste tecnologie sono quelli della produzione industriale, dell'assistenza e dei trattamenti sanitari, della gestione e miglioramento della sicurezza negli ambienti di lavoro e del supporto alla gestione delle emergenze in ambienti pericolosi. Un progetto pilota per il sopralluogo e l'ispezione di edifici monumentali in emergenza sismica è stato condotto immediatamente dopo la prima grande scossa di terremoto del 24 agosto 2016. L'esperienza è stata sviluppata nel contesto del progetto di ricerca europeo denominato TRADR (Long-Term Human-Robot Teaming for Disaster Responce)¹⁵³. Il Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, in qualità di partner del progetto TRADR, ha in pochi giorni composto un gruppo di lavoro, coinvolgendo ricercatori dagli altri enti e istituti europei *partners*, per ispezionare le chiese di S. Agostino e S. Francesco ad Amatrice, con l'obiettivo di fornire modelli 3D *texturizzati* degli interni e degli esterni per facilitare la valutazione dei danni e indirizzare le operazioni di pronto intervento¹⁵⁴. Per la missione sono stati utilizzati due robot terrestri a guida remota, o meglio UGV¹⁵⁵, e tre droni. Il sistema di trazione a ruote cingolate degli UGV ha permesso ai dispositivi di entrare in entrambe le chiese scavalcando i cumuli di macerie che ostruivano gli ingressi. L'accesso dei droni è stato invece condotto dall'alto, passando dalle aperture prodottesi dal crollo delle strutture della vetrata del rosone in S. Francesco e dall'apertura generata dal ribaltamento e crollo della sopraelevazione della facciata di S. Agostino e di parte della copertura. (Figg. 2.3.3, 2.3.4). Gli UGV utilizzati sono stati attrezzati con apparecchiature in grado di rilevare con precisione le strutture indagate¹⁵⁶. In effetti i veri strumenti tecnologici per il rilievo degli interni sono stati i soli UGV. I droni sono stati utilizzati per monitorare e guidare i percorsi da terra. L'uso di più droni ha

¹⁵³ Il progetto TRADR è partito nel 2013 grazie a finanziamenti europei nell'ambito del settimo programma quadro 2007-2013. La missione del TRADR è quella di sviluppare tecnologie per la costituzione di teams composti da umani e robots con lo scopo di gestire emergenze post-disastro. Le ricerche in ambito TRADR sono rivolte alla produzione e sperimentazione di robots collaboranti con le squadre di soccorso, in grado di esplorare ambienti e raccogliere campioni di materiale, fornendo informazioni necessarie alla programmazione delle attività di gestione dell'emergenza. Al progetto hanno preso parte: il DFKI, Centro di Ricerca Tedesco per l'Intelligenza Artificiale; la TUDelft, Università della Tecnologia di Delft (Olanda); il Fraunhofer IAIS, Istituto l'Analisi Intelligente e i Sistemi Informativi di Fraunhofer (Germania); il KYH, Istituto Reale di Tecnologia (Svezia); l'ETH, Istituto federale svizzero di Tecnologia; l'Istituto Ceco di Informatica, Robotica e Cibernetica; La Sapienza Università di Roma; il Corpo Nazionale dei VVFF, Ministero dell'Interno Italia; la TNO, Organizzazione Olandese per la Ricerca Scientifica Applicata.

¹⁵⁴ KRUIJFF-KORBAYOVÀ ET AL. 2016

¹⁵⁵ L'acronimo UGV sta per Unmanned Ground Vehicle e indica tutti i robot a guida remota che si spostano a terra.

¹⁵⁶ Dispositivi integrati agli UGV TRADR: Antenna WiFi per il controllo da remoto, videocamera omnidirezionale, Laser Scanner, sensore IMU (Unità di Misura Inerziale) per il controllo dell'assetto, sensore GPS per la geolocalizzazione delle misure.

consentito il sorvolo agevole degli interni anche quando parte di essi si trovavano in posizioni non visibili dall'esterno lavorando come una vera e propria flotta aerea. Le riprese da drone degli esterni hanno consentito di completare il rilievo delle chiese. In tutto le operazioni sono durate circa dieci ore per ognuna delle due chiese. Per la postproduzione dei dati sono state impiegate circa quarantotto ore per ognuna delle due chiese. Precedenti esperienze con le stesse attrezzature, sempre nell'ambito del progetto TRADR erano state condotte nel 2012 in Emilia-Romagna a Mirandola, ma in quest'ultima sono stati raccolti molti più dati, registrando un avanzamento nella sperimentazione. Un altro sistema robotico di cui si è già discusso nel paragrafo 2.1.2.1 utilizzato nell'emergenza sismica del 2009 all'Aquila è il sistema IRpano. Sviluppato dall'Istituto per le Tecnologie della Costruzione del Consiglio Nazionale delle Ricerche (ITC-CNR) il sistema è costituito da una termocamera IR montata su un brandeggio motorizzato che consente la scansione delle pareti acquisendo immagini di campi di vista vicini velocemente anche in situazioni critiche di emergenza¹⁵⁷.

Numerose altre ricerche per l'applicazione della robotica alla ricognizione in ambienti non facilmente accessibili dei beni culturali sono state sviluppate negli ultimi anni. Presso il Dipartimento di Ingegneria Civile e meccanica dell'Università di Cassino è stato sviluppato un prototipo esapode per il rilievo di superfici architettoniche, pavimentazioni comprese, in ambienti non accessibili¹⁵⁸.

L'Istituto per i Sistemi Intelligenti di Automazione del Consiglio Nazionale delle Ricerche (IISA-CNR) ha condotto rilievi su pitture rupestri in zone inaccessibili della Grotta dei Cervi (Otranto, LE)¹⁵⁹. Dal momento che le esigenze del monitoraggio del patrimonio culturale sono molteplici, è plausibile il design dei robot sarà progettato in funzione alle specifiche esigenze e finalità della missione¹⁶⁰, come d'altronde accadrà anche negli altri settori di applicazione. Si può pertanto immaginare che nella gestione dell'emergenza post-sisma i sistemi robotici potranno essere applicati non esclusivamente nel contesto del rilievo dei danni e della progettazione delle opere provvisorie, ma anche in molte altre situazioni. Per esempio, sistemi di automazione robotica per la scansione 3D di piccoli oggetti già attualmente in studio e sperimentazione¹⁶¹, potrebbero essere molto utili nella catalogazione dei beni mobili e degli elementi architettonici di pregio trasportati nei depositi.

¹⁵⁷ CADELANO ET AL. 2015

¹⁵⁸ CIGOLA 2012

¹⁵⁹ CICIRELLI, MILELLA 2008

¹⁶⁰ CARBONE ET AL. 2015

¹⁶¹ DE STEFANO ET AL. 2016

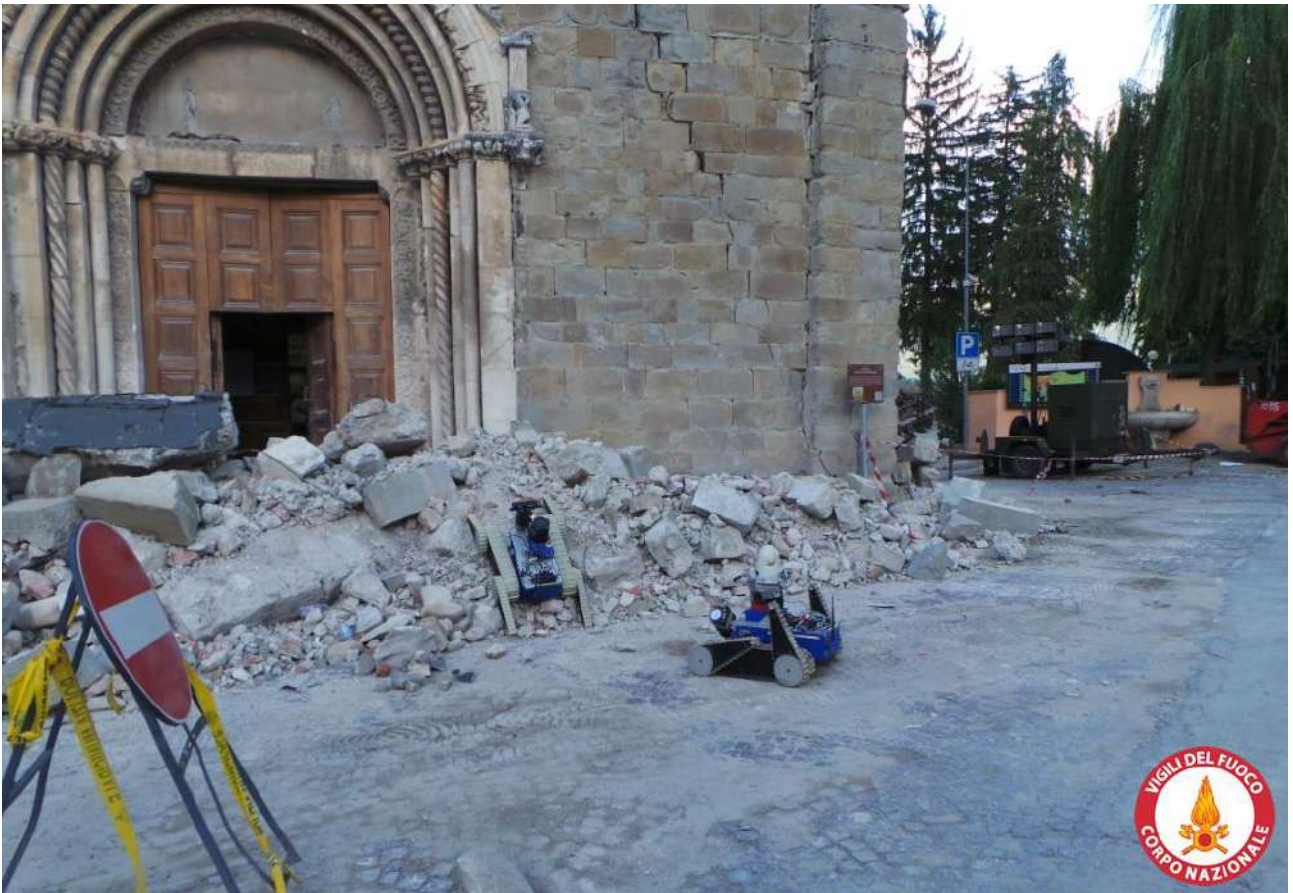


Figura 2.3.3 Ingresso degli UGV TRADR nella chiesa di S. Agostino ad Amatrice. (vigilfuocotv.it)(data ultima consultazione 20/07/20)



Figura 2.3.4 Ingresso degli UAV TRADR nella chiesa di S. Agostino ad Amatrice. (vigilfuocotv.it)(data ultima consultazione 20/07/20)

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

ACCARDO, CACACE, RINALDI 2005: Accardo G., Cacace C., Rinaldi R.; *Il Sistema Informativo Territoriale della Carta del Rischio*; in *ARKOS Scienza e Restauro dell'Architettura*, Anno VI, Nuova Serie, aprile/giugno 2005; Nardini Editore, 2005

ANGELUCCI, CELLUCCI, DI SIVO, LADIANA 2018: Angelucci F., Cellucci C., Di Sivo M., Ladiana D.; *Per un archivio dei materiali da demolizione nei territori della ricostruzione*; in *TECNE* n°16, 2018

AMADEI, CROCI, DE VITO, POUCHAIN, TORRACA, ZAMPINO 1988: Amadei P., Croci G., De Vito S., Pouchain M., Torraca G., Zampino G.; *Studi e Ricerche della Soprintendenza ai Beni Ambientali e Architettonici della Basilicata, Quaderno 1: Esecuzione delle prove e delle indagini*; Mark It Edizioni Roma; Roma, 1988

AMADEI, CROCI, DE VITO, POUCHAIN, TORRACA, ZAMPINO 1989: Amadei P., Croci G., De Vito S., Pouchain M., Torraca G., Zampino G.; *Studi e Ricerche della Soprintendenza ai Beni Ambientali e Architettonici della Basilicata, Quaderno 2: Il consolidamento con iniezioni cementizie*; Pouchain Edizioni Roma; Roma, 1989

ARGENTI, BETORI, CORRADO, CROVA, FAZIO 2017: Argenti S., Betori A., Corrado M.E., Crova C., Fazio G.M.; *La rimozione delle macerie nel post-terremoto. L'approccio propedeutico alla fase della conservazione e del restauro dell'edilizia storica e del patrimonio culturale*; Atti del 33° Convegno Internazionale Scienza e Beni Culturali, le nuove frontiere del restauro, Bressanone, 2017, pp. 375-388

ARGENTO 2020: Argento L.; *Analisi delle risorse litologiche degli edifici storici fiorentini con strumenti GIS e proposta di un itinerario turistico*; in *Archeomatica* n°1; Gennaio 2020

BARTOLOMUCCI, TRIZIO 2015: Bartolomucci C., Trizio I.; *Dal rilievo del danno sismico al disegno per il progetto di restauro: un'applicazione di documentazione speditiva in condizioni di emergenza*; in *Disegnarecon* vol.8 n.14, Gennaio 2015

BARTOLOMUCCI 2004: Bartolomucci C.; *Una proposta di "cartella clinica" per la conoscenza e la conservazione programmata del patrimonio culturale*, in *Arkos*, n°5, 2004, pp. 59-65

BASILE 2004: Basile G.; *Dal restauro alla conservazione programmata. Ricordo di Giovanni Urbani a dieci anni dalla morte*, in *Kermes*, 54, 2004, pp. 35-40

BASSOLI, PETROT 2017: Bassoli A.A., Petrot G.; *"Un taglio alla moda", conseguenze strutturali e rimedi relativi al taglio delle catene lignee degli archi trionfali nelle chiese. Alcuni casi in Val d'Intelvi*; in *Atti CRASC'17, VII Convegno su CRolli, Affidabilità Strutturale, Consolidamento*; Politecnico di Milano, 2017

BINDA, SAISI, ZANZI 2003: Binda L., Saisi A., Zanzi L.; *Sonic tomography and flat-jack test as a complementary investigation procedure for the stone pillars of the temple of S. Nicolò l'Arena (Italy)*; in *NDT&E International* n°36, 2003, pp. 215-227

- BINDA, ZANZI, LUALDI, CONDOLEO 2005: Binda L., Zanzi L., Lualdi M., Condoleo P.; *The use of georadar to assess damage to a masonry Bell Tower in Cremona, Italy*; in *NDT&E International* n°38, 2005, pp. 171-179
- BLASI, 2013: Blasi C.; *Architettura e terremoti*; Wolters & Kluwert, Torino, 2013
- BLASI, SORACE 1988: Blasi C., Sorace S.; *Sulla determinazione del “tiro” nelle catene mediante prove statiche e dinamiche*; in Atti III Congresso Nazionale ASS.I.R.CO., Catania, 1988
- BORRI, DE MARIA 2019: Borri A., De Maria A.; *Il metodo IQM per la stima delle caratteristiche meccaniche delle murature: allineamento alla circolare n. 7/2019*; in Atti XVIII Convegno ANIDIS, Ascoli Piceno, 2019
- BOTRÈ 2019: Botrè C.; *Gocce di storia. Metodi di indagine archeometrica*; WriteUp Site; 2019
- CACACE 2019: Cacace C.; *La Carta del Rischio per il patrimonio culturale*; in Fiorani D.; *Il futuro dei Centri Storici, Digitalizzazione e strategia conservativa*; Edizioni Quasar; Roma, 2019
- CADELANO, BORTOLIN, CIFANI, FERRARINI, MANNELLA, PETRACCA, BISON 2015: Cadelano G., Bortolin A., Cifani G., Ferrarini G., Mannella A., Petracca A., Bison P.; *Ispezioni strutturali supportate dalla termografia IR*; in Atti XVI Convegno ANIDIS; L’Aquila, 2015
- CAMINNECI, PARRELLO, RIZZO 2016: Caminnecki V., Parrello M.C., Rizzo M.S.; *La città che produce: archeologia della produzione negli spazi urbani*; in Atti delle Giornate Gregoriane, X Edizione, Agrigento, 2016
- CANGI 2005: Cangì G.; *Manuale del recupero strutturale e antisismico*; DEI Tipografia del Genio Civile di Roma, 2005
- CARBONARA 2018: Carbonara G.; *Earthquakes, reconstruction and monumental heritage*; in *Conservation Science in Cultural Heritage* n°18; Mimesis Edizioni, 2018
- CARBONARA 1997: Carbonara G.; *Avvicinamento al restauro. Teoria, storia, monumenti*; Liguori Editore, Napoli, 1997
- CARBONARA 1988: Carbonara G.; *Restauro e colore della città: un problema da rivedere*; in *Storia Architettura*, Anno XI, 1988; pp. 35-52
- CARBONE, TEDESCHI, GALLOZZI, CIGOLA 2015: Carbone G., Tedeschi F., Gallozzi A., Cigola M.; *A robotic mobile platform for service tasks for cultural heritage*; in *International Journal of Advanced Robotics Systems*, n°12, 2015; pp. 1-10
- CARDARELLI 1995: Cardarelli E.; *3D tomography of some pillars of the Coliseum*, in *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, XXXVII, n. 148, Dicembre 1995

- CASADIO, CHIARI, SIMON 2005: Casadio F., Chiari G., Simon S.; *Evaluation of binder/aggregate ratios in archaeological lime mortars with carbonate aggregate: a comparative assessment of chemical, mechanical and microscopic approach*; in *Archaeometry* n°47, 2005, pp.671-689
- CASTELLANO, MARTINI, SIBILIA 2007: Castellano A., Martini M., Sibilìa E.; *Elementi di Archeometria. Metodi fisici per i beni culturali*; EGEA Editore; 2007
- CECCHINI 2012: Cecchini S.; *Trasmettere al futuro. Tutela, Manutenzione, Conservazione programmata*; Gangemi Editore, Roma, 2012
- CICIRELLI, MILELLA 2008: Cicirelli G., Milella A.; *Environment modelling with an autonomous mobile robot for cultural heritage preservation and remote access*; in Pecherkovà P., Flidr M., Dunik J.; *Robotics, Automation and Control*; Hi-Tech Editions, Vienna, Austria, 2008
- CIGOLA 2012: Cigola M.; *Technologies applied to cultural heritage: a robot application in architectural survey*; in *Journal of Civil Engineering and Architecture*; Serie 58, Volume 6, n°9, 2012; pp. 1109-1116
- CIVERRA, LEMME, CIFANI 2007: Civerra C., Lemme A., Cifani G.; *Strumenti per il rilievo del danno e della vulnerabilità sismica dei Beni Culturali*; Ministero per i Beni e le Attività Culturali Soprintendenza per i Beni Architettonici, per il Paesaggio e per il Patrimonio Storico, Artistico e Etnoantropologico del Molise; Tipografia Lampo; Campobasso, 2007
- COLES 2008: Coles J.; *Archeologia Sperimentale*; Longanesi Editore; 2008
- COLLA 2009: Colla C.; *Diagnosi di muratura, calcestruzzo e legno tramite georadar per la valutazione e conservazione di costruzioni e infrastrutture*; in *Il Giornale delle Prove non Distruttive Diagnostica Monitoraggio* n°1, 2009
- COLLA 2009: Colla C.; *Diagnostici di elementi strutturali lignei e murari mediante tomografia sonica: esempi applicativi per la valutazione dello stato di conservazione di beni storico-culturali*; in *Atti Congresso AIPnD*, Roma, 2009
- CUPELLONI 2017: Cupelloni L.; *Materiali del Moderno*; Gangemi Editore; Roma, 2017
- DELLA TORRE 2014: Della Torre S.; *Oltre il restauro, oltre la manutenzione*; in *La strategia della Conservazione programmata dalla progettazione delle attività alla valutazione degli impatti*; Nardini Editore, Firenze, 2014; pp. 1-10
- DELLA TORRE 2010: Della Torre S.; *Conservazione programmata: i risvolti economici di un cambio di paradigma*; in *Il Capitale culturale*; vol.1, 2010, eum edizioni; pp. 47-55
- DE STEFANO ET AL 2016: De Stefano A., Tausch R., Santos P., Kijupper A., Di Gironimo G., Fellner D.W., Siciliano B.; *Modelling a virtual robotic system for automated 3D digitization of cultural heritage artefacts*; in *Journal of cultural heritage* 19, 2016; pp. 531-537

- DI GREZIA ET AL. 2007: Di Grezia et al.; *Sisma Molise 2002: il percorso della ricostruzione*; in Atti XII Convegno ANIDIS, Pisa, 2007
- DI TOMMASO, CASACCI 2013: Di Tommaso A., Casacci S.; *Sopravvivenza di torri e campanili in ambiente sismico*; in Atti del Seminario Internazionale CIAS sull'evoluzione nella sperimentazione per le costruzioni; Creta, 2013, pp. 95-118
- DOGLIONI, MORETTI, PETRINI 1994: Doglioni, F., Moretti A., Petrini V.; *Le chiese e il terremoto*, Edizioni LINT, Trieste, 1994
- DOGLIONI, SCAPPIN, SQUASSINA, TROVÒ 2017: Doglioni F., Scappin L., Squassina A., Trovò F.; *Conoscenza e restauro degli intonaci e delle superfici murarie esterne di Venezia: campionature, esemplificazioni, indirizzi di intervento*; Il Prato Casa Editrice, 2017
- DOGLIONI, MARCHETTI, MODENA 2017: Doglioni F., Marchetti L., Modena C.; *Prima ricerca/rapporto sul comportamento ai sismi 2016 e sul danno ulteriore subito da edifici storici già consolidati nell'Umbria e nelle Marche dopo i terremoti del 1979 e del 1997. Primi spunti per l'indirizzo degli ulteriori interventi di riparazione/miglioramento e di approfondimenti scientifici*; Allegato alle Linee di indirizzo metodologiche e tecniche per la ricostruzione del patrimonio culturale danneggiato dal sisma del 24 Agosto 2016 e seguenti, Circolare n. 53/2017 DG-ABAP
- DONATELLI 2010: Donatelli A.; *Terremoto e architettura storica: prevenire l'emergenza*; Gangemi editore; Roma, 2010
- FASSINA, ARBIZZANI 2003: Fassina V., Arbizzani R.; *Origine e caratterizzazione delle efflorescenze saline sui marmi parietali; esperimenti sulla rimozione dei Sali solubili*; in Piana M., Wolters W.; *Santa Maria dei Miracoli a Venezia: La storia, la fabbrica, i restauri*; Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti; Venezia, 2003
- FIORANI 2019: Fiorani D.; *Il futuro dei centri storici. Digitalizzazione e strategia conservativa*; Edizioni Quasar; Roma, 2019
- FIORANI 2009: Fiorani D.; *Restauro e tecnologie in architettura*; Carocci Editore; Roma, 2009
- FIORANI 2001: Fiorani D.; *Il colore nell'edilizia storica*; Gangemi Editore; Roma, 2001
- FRONGIA, DI GREGORIO, PIRAS 2013: Frongia P., Di Gregorio F., Piras G.; *Indagini termografiche, trasformazioni architettoniche e degrado dei materiali nelle chiese del centro storico di Siliqua (Sardegna S-W)*; in *Bollettino A.I.C.* nr. 149, 2013
- GARZIERA, COLLINI 2009: Garziera R., Collini L.; *Identificazione della tensione nelle catene di edifici storici mediante analisi modale*; in Atti Congresso AIPnD, Roma, 2009
- GRASSI, SANTARSIERO, SIRIGU 2019: Grassi S., Santarsiero D., Sirigu M.; *Guida rapida alla fotogrammetria 3D con droni*; myGEO Edizioni, 2019

- GERALDI, GIZZI, MASINI 2003: Gerdali E., Gizzi F.T., Masini N.; *Termografia all'infrarosso ed archeologia dell'architettura: alcuni esempi*; in Atti del 22° Convegno Nazionale GNGTS, Roma, 2003
- GIOVAGNOLI, DORE, MONTELEONE 2018: Giovagnoli A., Dore N., Monteleone A.; *I sistemi di monitoraggio a supporto delle attività nelle aree terremotate*; in *Archeomatica* n°1, 2018
- GUCCI, MARCHISIO, SASSU 1995: Gucci N., Marchisio M., Sassu M.; *Tecniche sperimentali comparate per la diagnostica di murature miste*, in Atti VII Convegno ANIDIS, Siena, 1995
- GUEMANDI, D'ANGELO 2019: Guemandi M.P., D'Angelo U.; *Il diritto alla città storica*, Atti del Convegno – Roma, 12 novembre 2018; Pubblicazione dell'Associazione Istituto di studi, ricerche e formazione Ranuccio Bianchi Bandinelli fondato da Giulio Carlo Argan; 2019
- JURINA 2007: Jurina L.; *La caratterizzazione meccanica delle murature: prove penetrometriche*; in Atti del Convegno Internazionale C.I.A.S., Cipro, 2007, pp. 115-132
- KRUIJFF-KORBAYOVÀ ET AL. 2016: Kruijff-Korbayová I., Freda L., Gianni M., Ntouskos V., Hlavàc V., Kubelka V., Zimmermann E., Surmann H., Dulik K., Rottner W., Gissi E.; *Deployment of Ground and Aerial Robots in Earthquake-Struck Amatrice in Italy*; in proceedings of the 2016 IEEE International Symposium on Safety, Security and Rescue Robotics, Losanna, Svizzera, 2016, pp. 278-279
- LAGOMARSINO, 1998: Lagomarsino, S.; *A new methodology for the post-earthquake investigation of ancient churches*, in Proceedings of the XI European Conference on Earthquake Engineering, Parigi, 1998
- LAGOMARSINO, PODESTÀ 2005: Lagomarsino S., Podestà S; *Inventario e vulnerabilità del patrimonio monumentale dei parchi dell'Italia centro-meridionale e meridionale, Vol.III - Analisi di vulnerabilità e rischio degli edifici monumentali*, INGV/GNDT-Istituto Nazionale di geofisica e Vulcanologia / Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti; L'Aquila, 2005
- LEUCCI ET AL. 2011: Leucci G., Masini N., Persico R., Soldovieri F.; *GPR and sonic tomography for structural restoration: the case of the cathedral of Tricarico*; in *Journal of Geophysics and Engineering* n°8, 2011, pp. 76-92
- LINEE GUIDA DEI BENI CULTURALI, 2010. *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008*
- LUALDI ET AL. 2003: Lualdi M., Gianinetto M., Zanzi L., Saisi A.; *Complementarietà delle indagini termografiche e georadar nella diagnostica degli edifici*; GNGTS, Atti del 22° Convegno Nazionale; Roma, 2003
- LUDWIG 2015: Ludwig N; *Misurare l'arte. Tecniche di datazione e imaging per i beni culturali*; Yucanprint, 2015

- MANNONI, GIANNICHECKDA 1996: Mannoni T., Giannichedda E.; *Archeologia della produzione*; Einaudi; Torino, 1996
- MARCHISIO ET AL. 2001: Marchisio M., D'Onofrio L., Forlani E., Cerri S.; *Diagnostica non pervasiva con metodologie dinamiche di origine geofisica sulle strutture murarie di edifici monumentali*; in *Science and Technology for Cultural Heritage*, 10, 2001, pp. 41-62
- MARCONI 2005: Marconi P.; *Il recupero della bellezza*; Skira Editore, 2005
- MARCONI 1984: Marconi P.; *Arte e cultura della manutenzione dei monumenti*; Edizioni Laterza, 1984
- MASINI ET AL. 2012: Masini N., Liberatore D., Gizzi F., Leucci G., Quarta G., Persico R.; *Analysis of damage and diagnostic investigations on Tricarico Cathedral (Italy)*; in *Atti della Conferenza Structural Analysis of Historical Costructions*, SAHC; Wroclaw, 2012
- MEROTTO 2017: Merotto A.; *Danni e difetti delle costruzioni in legno: diagnosi, punti critici soluzioni*; *Quaderni di patologia edilizia*; Maggioli Editore; 2017
- MIBACT, SEGRETARIATO GENERALE 2017: *Relazione conclusiva attività coordinate dalla Di.Coma.C a seguito degli eventi sismici 2016-2017 del Centro Italia, 24 Agosto 2016 – 6 Aprile 2017*
- MIARELLI MARIANI 1984: Miarelli Mariani G.; *Osservazioni in margine ai trattamenti dei colori nell' "edilizia minore"*; in Ministero per i Beni Culturali e Ambientali, *Bollettino d'Arte*, Supplemento, *Intonaci colore e coloriture nell'edilizia storica*, Atti del Convegno, Ottobre 1984; Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma, 1984; pp. 25-27
- MINOSI 2005: Minosi V.; *Le eredità di Giovanni Urbani*, in *Arkos*, 10, 2005; pp. 26-30
- MINUCCI 2018: Minucci E.; *APR e droni nella moderna ricerca archeologica*; in *Newsletter di Archeologia CISA*, Volume 9, 2018, pp. 91-114
- MOLINARI ET AL 2014: Molinari A., Santangeli Valenzani R., Spera L.; *L'archeologia della produzione a Roma (secoli V-XV)*; Atti del Convegno internazionale di Studi; Roma, 2014
- MURATORE 2010: Muratore O.; *Il colore dell'architettura storica. Un tema di restauro.*; Alinea Editrice; Firenze, 2010
- MUSSO 2004: Musso S.F.; *Recupero e restauro degli edifici storici, guida pratica al rilievo e alla diagnostica*; EPC Editore; 2004
- NEGRI 2014: Negri A.; *Conoscenza e catalogazione: la cooperazione tra sistemi informativi per la gestione dei dati prima e dopo l'emergenza*; in *Materiali e Strutture, problemi di conservazione*, nuova serie, anno III, numero 5-6; Edizioni Quasar, Roma, 2014

- NUNZIATA ET AL. 2017: Nunziata A., Bianchini N., D'Andrea M., Serpe E.; *Le volte in foglio e il sisma: Analisi delle chiese dell'area Umbro-Marchigiana*; in Atti CRASC'17, VII Convegno su *CRolli, Affidabilità Strutturale, Consolidamento*; Politecnico di Milano, 2017
- PARENTI, VECCHI, GILENTO 2010: Parenti R., Vecchi A., Gilento P.; *Archeologia dell'architettura e rischio sismico*; in *Supplemento a Archeologia dell'architettura XIII*, 2008; Edizioni All'Insegna del Giglio, 2010
- PHILIPPOT, MORA, MORA 1984: Philippot P., Mora L., Mora P.; *Il restauro degli intonaci colorati in Architettura: l'esempio di Roma e la questione di metodo*; in Ministero per i Beni Culturali e Ambientali, *Bollettino d'Arte*, Supplemento, *Intonaci colore e coloriture nell'edilizia storica*, Atti del Convegno, Roma, 25-27 Ottobre 1984; Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato
- PLACIDI 2015: Placidi A.; *Gli intonaci nell'architettura storica. Problematiche conservative e proposte di intervento per la città dell'Aquila*; Tesi di Dottorato in Restauro dei Monumenti, Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura, Università La Sapienza di Roma, 2015
- PODESTÀ, SCANDOLO 2012: Podestà S., Scandolo L.; *Le catene metalliche nell'edilizia storica: come valutarne il contributo strutturale*; in *Ingenio* n°6, 2012
- PROIETTI 1994: Proietti G.; *Dopo la polvere, rilevazione degli interventi di recupero del patrimonio artistico-monumentale danneggiato dal terremoto del 1980-1981*; Ministero per i Beni Culturali e Ambientali, Soprintendenza generale agli interventi post-sismici per le regioni Campania e Basilicata; Roma, 1994
- RIVENSON ET AL. 2017: Rivenson Y., Gorocs Z., Gunaydin H., Zhang Y., Wang H., Ozcan A.; *Deep learning microscopy*; in *Optica* Vol.4, issue 11, 2017, pp. 1437-1443
- RUBINO 2014: Rubino C.; *La gestione delle emergenze derivanti da calamità naturali per la salvaguardia del patrimonio culturale*; in *Materiali e Strutture*, Nuova serie, anno III, numero 5-6, 2014; pp.39-54
- SALONIA 2003: Salonia P.; *Strumenti informatici innovativi di ausilio alla conservazione del patrimonio storico-architettonico: problemi di organizzazione, diffusione e gestione dati*; in *Comunicazione multimediale per i beni culturali*; Addison-Wesley, Milano, 2003
- SALONIA, NEGRI 2001: Salonia P., Negri A.; *Dissemination of heterogeneous informations in the recovery of historical buildings: ARKIS-NET*; in Atti del II International Congress on Science and Technology for the safeguard of cultural heritage in Mediterranean Basin, Spagna, 2001
- SANDOLI ET AL. 2017: Sandoli A., Brandonisio G., Mazzocca L., Calderfoni B.; *La valutazione della capacità sismica delle chiese in muratura alla luce delle indicazioni normative: considerazioni con riferimento ad un caso reale*; in Atti XVII Convegno ANIDIS; Pistoia, 2017
- SETTE 1988: Sette M.P.; *Colore e città storica. Consonanze e dissonanze nel dibattito contemporaneo*; in Studi Romani XXXIV, 1988; pp. 73-86

SIANO 2012: Siano S.; *Archeometria e restauro. L'innovazione tecnologica*; Nardini Editore; 2012

SOTGIA 2003: Sotgia C.; *Il Programma di Conservazione: indicazioni di metodo per le attività di controllo*; in *La conservazione programmata del patrimonio storico architettonico – Linee guida per il Piano di conservazione e il consuntivo scientifico*, Regione Lombardia Direzione Generale Culture, Edizioni Angelo Guerini e Associati, Milano, 2003; pp. 89 – 105

SPERA, ESPOSITO, GIORGI 2011: Spera L., Esposito D., Giorgi E.; *Costruire a Roma nel Medioevo: Evidenze di cantiere a San Paolo fuori le Mura*, in *Archeologia dell'Architettura XVI*, 2011; pp.19-33

TOMASONI 2015: Tomasoni E.; *Analisi, verifiche e consolidamento strutturale di archi e volte: manuale per la valutazione della sicurezza e per la progettazione degli interventi*; Dario Flaccovio Editore; Palermo, 2015

TORRACA, SETTE 2001: Torraca G., Sette M.P.; *La cura dei materiali nel restauro dei monumenti*; Bonsignori Editore; Roma, 2001

VECCHIATTINI 2009: Vecchiattini R.; *La civiltà della calce: storia, scienza e restauro*; De Ferrari Editore; Genova, 2009

RIFERIMENTI NORMATIVI

D.lgs. 42/2004: Codice dei beni culturali e del paesaggio.

Direttiva 2008/98/CE: 19 novembre 2008 relativa ai rifiuti e che abroga alcune direttive.

Direttiva MiBACT 12/12/13: Procedure per la gestione delle attività di messa in sicurezza e salvaguardia del patrimonio culturale in caso di emergenze derivanti da calamità naturali.

Direttiva MiBACT 12/09/16: Procedure di rimozione e recupero delle macerie di beni tutelati e di edilizia storica.

Circolare n. 53/2017 DG-ABAP, MiBACT: Linee di indirizzo metodologiche e tecniche per la ricostruzione del patrimonio culturale danneggiato dal sisma del 24 agosto 2016 e seguenti.

CAPITOLO 3 – GLI EVENTI SISMICI DEL 2016 E 2017 NEL CENTRO ITALIA

3.0 Introduzione

Il capitolo secondo sono state definite e proposte le metodologie d'interazione fra le rilevazioni diagnostiche e le fasi di gestione dell'emergenza sismica. Alle procedure in uso per il rilievo dei danni sono state affiancate nuovi strumenti operativi per il controllo della vulnerabilità degli edifici colpiti e alla conoscenza delle tradizioni costruttive locali, mediante tecniche di analisi e documentazione a vista e tecniche d'indagine strumentale applicabili sin dall'immediata fase post-sisma. Tali strumenti sono stati in parte testati e validati sul campo mediante una fase della ricerca dedicata alla sperimentazione. Dal momento che gli strumenti operativi proposti prevedono un'applicazione nell'immediato post-sisma si è scelto di cercare casi studio per la sperimentazione nell'area colpita dai forti sismi intercorsi tra il 2016 e 2017. Il presente capitolo presenta le premesse di scelta dei luoghi della sperimentazione e di studio delle loro caratteristiche generali, funzionale all'interpretazione dei dati sperimentali. Si analizzano e discutono quindi i dati relativi agli eventi sismici che hanno colpito il centro Italia nel 2016 e 2017. Sulla base dei Rapporti dei Gruppi di Lavoro dell'INGV, redatti a seguito di ogni evento sismico di magnitudo superiore a 5.0, viene ricostruita cronologicamente l'intera sequenza sismica, con la relativa evoluzione geografica delle aree sollecitate. Analizzando la distribuzione dei comuni colpiti è stato possibile individuare, la zona globalmente più sollecitata durante tutta la sequenza sismica e nella quale si sono sommati tutti gli effetti, causando i danni più estesi alle strutture monumentali e all'edilizia storica. In quest'area si trovano quei centri ormai quasi totalmente rasi al suolo, come Accumoli, Amatrice e Illica nel Lazio; Arquata del Tronto e Pescara del Tronto nelle Marche e Castelluccio di Norcia in Umbria. Un'analisi degli effetti macrosismici meno gravi viene esposta per ogni regione coinvolta. Si passa quindi a definire il territorio di Amatrice come ambito geografico per gli aspetti applicativi e sperimentali della ricerca. Lo studio sperimentale viene esposto nei capitoli successivi, ma nel presente capitolo trova delle importanti premesse nello studio della storia sismica, della geomorfologia e della geolitoologia caratteristiche del territorio.

3.1 Gli eventi sismici: la sequenza dall'agosto 2016 al gennaio 2017

3.1.1 Sisma del 24 agosto 2016

Il primo degli eventi sismici che hanno colpito il centro Italia si è verificato nella notte del 24 agosto 2016, con effetti devastanti che hanno interessato una vasta porzione dell'appennino centrale, al confine tra quattro regioni: Lazio, Umbria, Abruzzo e Marche. L'epicentro è stato localizzato nelle vicinanze del comune di Accumoli, in provincia di Rieti. La magnitudo registrata è stata di 6.0 (Fig.3.1.1), prodotta dall'attivazione di un complesso sistema di faglie che percorrono assialmente l'appennino centrale. La faglia che ha prodotto il maggiore spostamento è stata quella che corre lungo la parete ovest del Monte Vettore e prosegue verso sud ovest in direzione del Monte Gorzano (Fig.3.1.3). A questo evento principale hanno avuto seguito, nei giorni successivi, oltre duemila repliche, con epicentri distribuiti in una fascia di 30 km di lunghezza e 12 km di larghezza, delimitata dai comuni di Amatrice a sud-est e Norcia a nord-ovest (Fig.3.1.2). Nella stessa area, a un mese dal primo evento, il conteggio delle repliche è arrivato a superare le 9000 unità.

3.1.2 Sismi del 26 ottobre 2016

A due mesi dal primo evento, la sera del 26 ottobre, due sismi di magnitudo 5.4 e 5.9 sono stati registrati, con epicentro rispettivamente nelle vicinanze di Castelsantangelo sul Nera e Visso, entrambe in provincia di Macerata. La zona interessata è geograficamente in continuità con la distribuzione delle repliche post-sismica del 24 agosto. L'area globalmente colpita si è quindi estesa, ricadendo all'interno di una fascia che corre lungo l'appennino centrale e si estende per 50 km a partire da Amatrice in direzione Nord-Ovest. L'estensione geografica osservata è coerente con le conoscenze geologiche della regione interessata. L'insieme di faglie coinvolte negli eventi del 26 ottobre è noto come "sistema del Vettore-Bove" ed è la continuazione verso nord del sistema di faglia attivatosi nel terremoto del 24 agosto (Fig.3.1.4).

3.1.3 Sisma del 30 ottobre 2016

La mattina del 30 ottobre, a 5 km da Norcia, è stata registrata una scossa di magnitudo 6.5, la più forte di tutta la sequenza iniziata il 24 agosto 2016, nonché la maggiore in Italia dal terremoto dell'Irpinia del 1980, di magnitudo 6.9. La faglia coinvolta è stata nuovamente quella del Monte Vettore, ma quest'evento, a differenza dei precedenti, ha prodotto eclatanti effetti geologici: sulle faglie sono stati misurati macroscopici spostamenti reciproci dei lembi, le cui entità variano da decine

di centimetri fino a più di due metri (Figg.3.1.5, 3.1.6). Globalmente l'intera area colpita a partire dal 24 agosto ha subito notevoli deformazioni geologiche permanenti. Si è prodotto, infatti, un abbassamento del terreno in tutto il territorio in cui si sono susseguite le scosse principali e le loro repliche. Tale scarto ha raggiunto un massimo di 70 cm sulla verticale in corrispondenza della piana di Castelluccio di Norcia. Contemporaneamente tutte le zone limitrofe che circondano la regione direttamente interessata dai sismi hanno subito un contestuale innalzamento del suolo¹⁶² (Fig.3.1.7).

3.1.4 Sismi del 18 e 19 gennaio 2017

A cinque mesi dal primo evento, dalla tarda mattinata del 18 gennaio 2017 sino al giorno successivo, sono stati registrati quattro sismi di magnitudo superiore a 5, con epicentri localizzati tra Montereale, Capitignano e Campotosto, in provincia dell'Aquila. La lunga fascia di territorio a ridosso dell'appennino centrale, interessato dallo sciame sismico, si è andata, quindi, ad estendersi a sud-ovest di Amatrice. Altri eventi sono stati registrati nei mesi successivi e tutt'oggi continuano a verificarsi frequenti sismi, ma le scosse del 18 e 19 gennaio 2017 sono state le ultime con una magnitudo superiore a 5. Durante l'intera sequenza si sono attivati però tutti i sistemi di faglie compresi tra quelli relativi alla sequenza del 1997-1998 di Colfiorito e Assisi, a nord-ovest, e quelli relativi alla sequenza del 2009 dell'Aquila, a sud-est (Fig.3.1.8). Questo dato, oltre a evidenziare la pericolosità sismica di tutto l'appennino centrale in corrispondenza delle quattro regioni di Umbria, Marche, Lazio e Abruzzo, consente di ipotizzare che vi possano essere ancora zone cariche di energia che potrebbero attivarsi nei prossimi anni.

¹⁶²L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) - Gruppo di lavoro SAR del Centro Nazionale Terremoti - ha ricostruito, in dettaglio, l'andamento dei movimenti del suolo dell'intera sequenza sismica. L'attività, coordinata dal Dipartimento della Protezione Civile (DPC), viene svolta dall'INGV e dall'Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-IREA di Napoli), centri di competenza nei settori dell'elaborazione dei dati radar satellitari e della sismologia, con il supporto dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI). Gli spostamenti del suolo relativi alla scossa sismica del 30 Ottobre 2016 sono stati calcolati mediante la lettura di interferogrammi differenziali ottenuti da dati radar del satellite europeo Sentinel 1. L'interferometria SAR (Synthetic Aperture Radar) è una tecnica di trattamento dei dati che permette di ricostruire l'andamento altimetrico della superficie terrestre. Consiste nel calcolare la differenza di fase tra due immagini SAR di una stessa scena, acquisite in condizioni geometriche analoghe, ma in momenti diversi. L'interferometria differenziale SAR è un'estensione della stessa tecnica, che permette di ricostruire l'andamento degli spostamenti del suolo avvenuti tra le date di acquisizione delle immagini SAR.

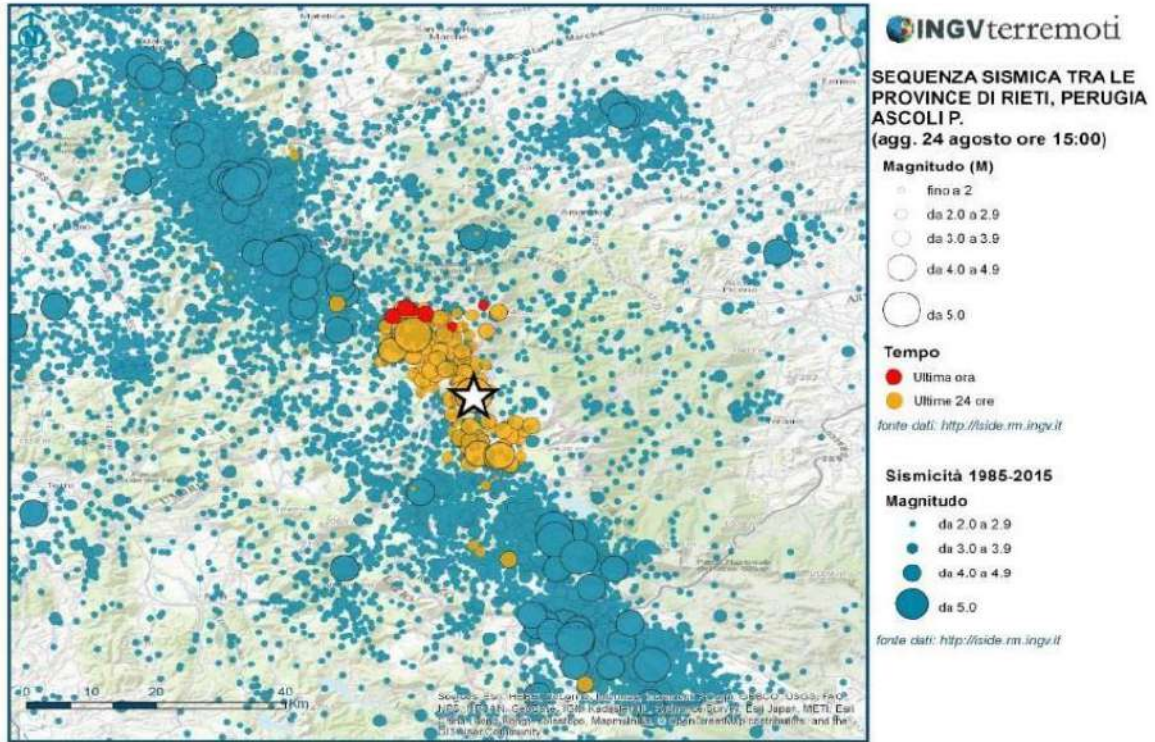


Figura 3.2.1: Mappatura della sismicità strumentale registrata entro le prime 12 ore a partire dall'evento sismico principale delle ore 03.36 del 24 Agosto 2016, con epicentro nei pressi di Accumoli. (GRUPPO DI LAVORO INGV SUL TERREMOTO DI AMATRICE)

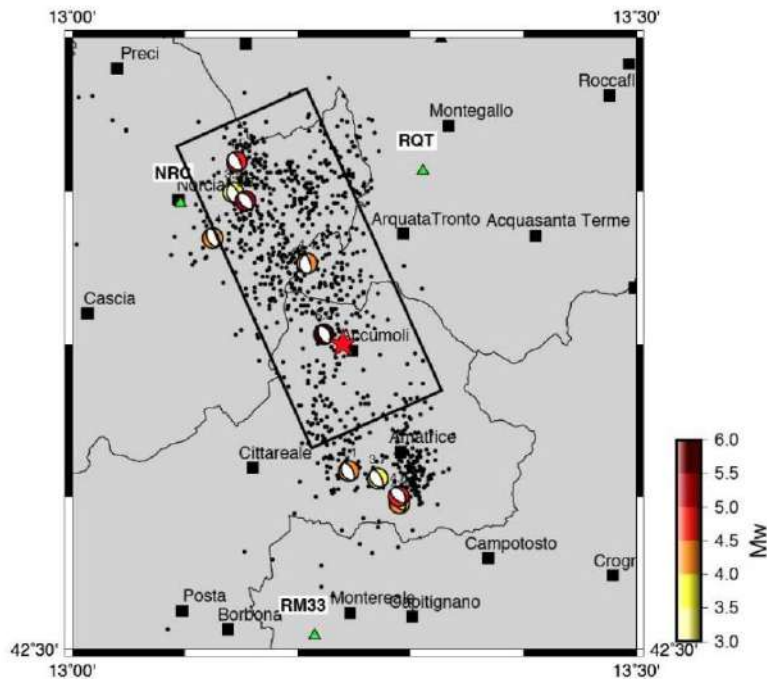


Figura 3.1.2: Distribuzione delle principali repliche a seguito dell'evento sismico del 24 Agosto 2016, con epicentro evidenziato dalla stella rossa. (GRUPPO DI LAVORO INGV SUL TERREMOTO DI AMATRICE)

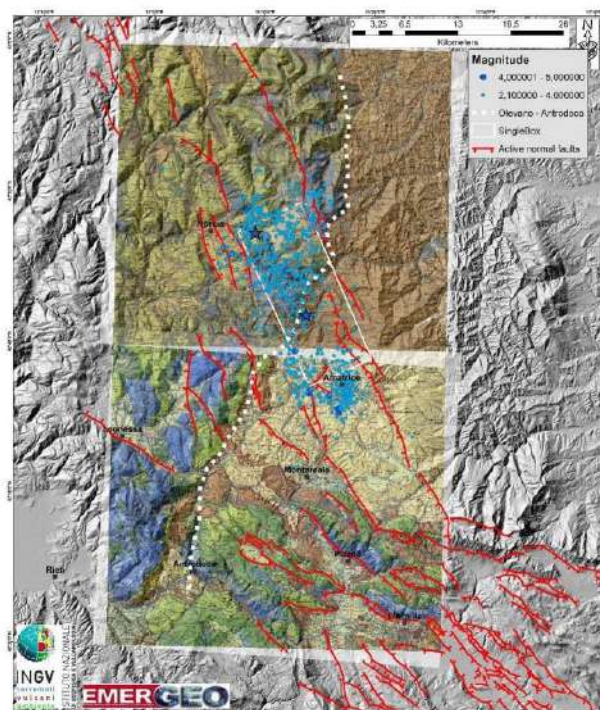


Figura 3.1.3: Il sistema di faglie attive (evidenziate in rosso) nell'area epicentrale. In puntinato azzurro la sismicità dal 24 al 27 agosto 2016. La linea tratteggiata in bianco indica la linea di separazione tra due differenti facies geologiche appartenenti l'una Monti Sibillini (area a Nord-Ovest) e l'altra ai Monti della Laga (area a Sud-Est). (GRUPPO DI LAVORO INGV SUL TERREMOTO DI AMATRICE)

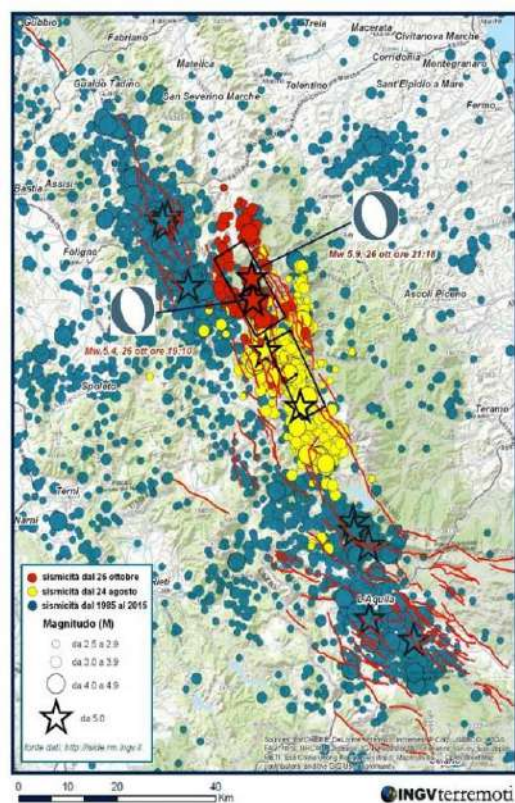


Figura 3.1.4: Mappatura della sismicità della sequenza sismica dal 24 agosto al 29 ottobre 2016. In giallo gli eventi sismici a partire dal 24 agosto, in rosso quelli a partire dal 26 ottobre, in blu la distribuzione della sismicità dal 1985 al 2015. (GRUPPO DI LAVORO INGV SUL TERREMOTO DI VISSO)



Figura 3.1.5: Foto da elicottero dei VVF, scattata la mattina del 30 ottobre nelle ore successive al sisma delle 7.40. Inquadrata una porzione della faglia del Monte Vettore con evidenti fratture appena formate. (www.centromicrozonazioneisimica.it) (Data ultima consultazione 20/07/20)



Figura 3.1.6: Scorrimento lungo la faglia del monte vettore di circa un metro. (www.centromicrozonazioneismica.it) (Data ultima consultazione 20/07/20)

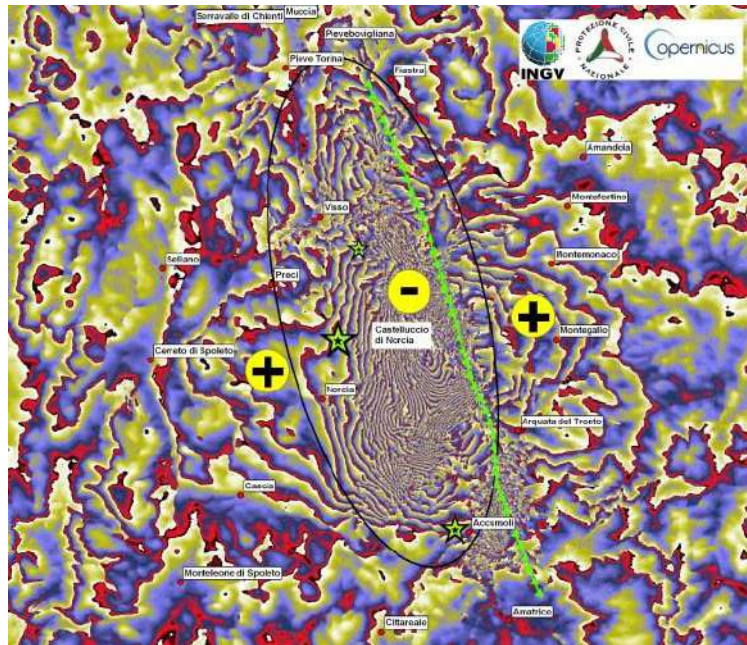


Figura 3.1.7: Interferogramma differenziale ottenuto da dati radar del satellite europeo Sentinel-1: ogni frangia di colore rappresenta un abbassamento del terreno di circa 3 cm rispetto alle frange adiacenti. L'ellisse indica la zona in cui si sono verificati i maggiori movimenti del terreno. I simboli in giallo indicano il verso del movimento del terreno: + sollevamento e - abbassamento. (GRUPPO DI LAVORO INGV SUL TERREMOTO IN CENTRO ITALIA)

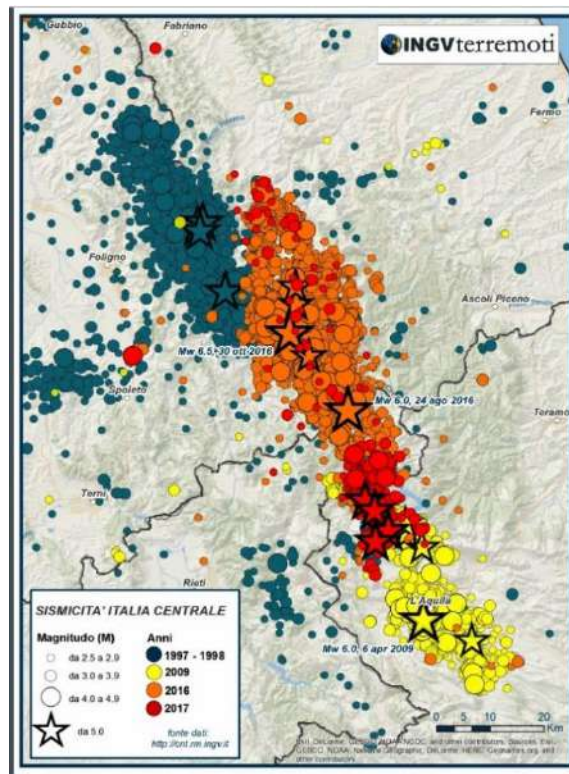


Figura 3.1.8: Mappatura delle maggiori sequenze sismiche in Italia centrale dal 1997 al 2017. In blu la sequenza Colfiorito-Assisi 1997-1998, in giallo la sequenza dell'Aquila 2009, in arancio la sequenza Amatrice-Visso-Norcia del 2016, in rosso la sequenza Montereale- Capitignano-Campotosto del 2017. (GRUPPO DI LAVORO INGV SUL TERREMOTO IN CENTRO ITALIA)

3.2. Principali danni a seguito degli eventi sismici.

Lo sciame sismico del centro Italia ha prodotto effetti disastrosi in una zona piuttosto concentrata attorno ad Amatrice, Accumoli e Arquata del Tronto, ma, contestualmente, un notevole livello di danneggiamento edilizio è stato riscontrato in un'area geografica che è andata ad assumere proporzioni sempre più vaste dal 24 agosto 2016 al 18 gennaio 2017. I comuni colpiti dal sisma del 24 agosto sono stati 62, di cui 8 in Abruzzo, 10 nel Lazio, 14 in Umbria e ben 30 nelle Marche. Considerando come un unico evento la serie di scosse tra il 26 e il 30 ottobre, si sono aggiunti altri 6 comuni in Abruzzo, 5 nel Lazio, un solo comune in Umbria e di nuovo un numero considerevole di centri nelle Marche, ovvero 57. Solo altri 9 comuni Abruzzesi sono infine stati interessati dal sisma del 18 gennaio, con i quali si è raggiunto complessivamente il numero di 140 comuni colpiti dall'inizio della sequenza sismica (Tab.2.2.1, Fig.2.2.1).

TABELLA 2.2.1 – COMUNI COLPITI DAL SISMA NEL CENTRO ITALIA, 2016-2017.			
Comuni colpiti dal sisma del 24 agosto 2016			
Regione Abruzzo	Regione Lazio	Regione Marche	Regione Umbria
Campotosto (AQ) Capitignano (AQ) Montereale (AQ) Cortino (TE) Crognaleto (TE) Rocca S. Maria (TE) Valle Castellana (TE) Montorio V. (TE)	Accumoli (RI) Amatrice (RI) Antrodoco (RI) Borbona (RI) Borgo Velino (RI) Castel S. Angelo (RI) Cittareale (RI) Leonessa (RI) Micigliano (RI) Posta (RI)	Acquasanta T. (AP) Arquata T. (AP) Comunanza (AP) Cossignano (AP) Force (AP) Montalto M. (AP) Montedinove (AP) Montefortino (AP) Montegalloy (AP) Montemonaco (AP) Palmiano (AP) Roccafluvione (AP) Rotella (AP) Venarotta (AP) Amandola (FM) Acquacanina (MC) Bolognola (MC) Castelsantangelo N. (MC) Cessapalombo (MC) Fiastra (MC) Fiordimonte (MC) Gualdo (MC) Penna S. Giovanni (MC) Pievebovigliana (MC) Pieve T. (MC) S. Ginesio (MC) S. Angelo P. (MC) Sarnano (MC) Ussita (MC) Visso (MC)	Cascia (PG) Cerreto S. (PG) Monteleone S. (PG) Norcia (PG) Poggiodomo (PG) Preci (PG) S. Anatolia N. (PG) Scheggino (PG) Sellano (PG) Vallo N. (PG) Arrone (TR) Ferentillo (TR) Montefranco (TR) Polino (TR)

Comuni colpiti dai sismi dal 26 al 30 ottobre 2016			
Regione Abruzzo	Regione Lazio	Regione Marche	
Campli (TE) Castelli (TE) Civitella T. (TE) Torricella S. (TE) Tossicia (TE) Teramo	Cantalice (RI) Cittaducale (RI) Poggio B. (RI) Rieti Rivodutri (RI)	Cerreto D. (AN) Appignano T. (AP) Ascoli Piceno (AP) Castel L. (AP) Castignano (AP) Castorano (AP) Colli T. (AP) Folignano (AP) Maltignano (AP) Offida (AP) Belmonte P. (FM) Falerone (FM) Massa F. (FM) Monsampietro M. (FM) Montappone (FM) M. Rinaldo (FM) M. Vidon Corrado (FM) Montefalcone A. (FM) Montegiorgio (FM) Monteleone (FM) Montelparo (FM) Ortezzano (FM) S. Vittoria M. (FM) Servigliano (FM) Smerillo (MC) Apiro (MC) Belforte del Chienti (MC) Caldarola (MC) Camerino (MC) Camporotondo F. (MC) Castelraimondo (MC) Cingoli (MC) Colmurano (MC) Corridonia (MC) Esanatoglia (MC) Fiuminata (MC) Gagliole (MC) Loro P. (MC) Matelica (MC) Mogliano (MC) Monte S.M. (MC) Montecavallo (MC) Muccia (MC) Petriolo (MC) Pioraco (MC) Poggio S.V. (MC) Pollenza (MC) Ripe S.G. (MC)	S. Severino (MC) Sefro (MC) Serrapetrona (MC) Serravalle C. (MC) Tolentino (MC) Treia (MC) Urbisaglia (MC)
			Regione Umbria
			Spoletto (PG)

Comuni colpiti dal sisma del 18 gennaio 2017			
Regione Abruzzo			
Barete (AQ) Cagnano A. (AQ) Pizzoli (AQ) Farindola (PE) Castelcastagna (TE) Colledara (TE) Isola Gran Sasso (TE) Pietracamela (TE) Fano A. (TE)			

In un bilancio complessivo redatto in base al numero di comuni danneggiati, la regione Marche risulta senza dubbio la più colpita, registrando un numero di comuni coinvolti superiore alla somma di quelli nelle restanti regioni (Fig.3.2.2). Bisogna però considerare altri aspetti per comprendere meglio la situazione nella sua interezza. Innanzitutto, l'area marchigiana disposta ai piedi dell'Appennino e verso la costa adriatica, quindi nel maceratese e nel fermano, è più densamente urbanizzata dei territori appenninici e preappenninici; pertanto l'elevato numero di comuni colpiti nelle Marche coincide con il numero elevato di centri collocati nel territorio. Di contro, nelle zone montuose dell'Appennino centrale, il numero di abitati si dirada notevolmente e le dimensioni di questi sono nella maggior parte dei casi piuttosto piccole. Pur risultando numericamente meno significativi, sono proprio i comuni colpiti nell'Appennino centrale ad aver riportato i danni più importanti, ma non solo a causa della loro prossimità agli epicentri degli eventi sismici.

Se consideriamo le caratteristiche della sequenza, la successione delle scosse ha interessato aree solo parzialmente coincidenti, coprendo una zona centrale (Accumoli e Amatrice) nell'agosto del 2016, per poi spostarsi a Nord-Ovest in ottobre e a Sud-Est nel gennaio 2017. Analizzando la distribuzione dei comuni colpiti nelle tre diverse fasi della sequenza sismica, in relazione ai tre differenti epicentri, è possibile individuare una zona che è stata sicuramente sollecitata ad ogni successivo *mainshock* e nella quale si sono sommati tutti gli effetti (Fig.3.2.3), causando l'indebolimento progressivo delle capacità resistenti di strutture monumentali e dell'edilizia storica. Si tratta della zona più strettamente al confine tra le quattro regioni interessate dai sismi, nella quale si trovano quei centri ormai quasi totalmente rasi al suolo, come Accumoli, Amatrice e Illica nel Lazio (Figg.3.2.4, 3.2.5, 3.2.6); Arquata del Tronto e Pescara del Tronto nelle Marche (Figg. 3.2.7, 3.2.8) e Castelluccio di Norcia in Umbria (Fig.3.2.9).

3.2.1 Principali danni nel Lazio

Nella regione Lazio, come già detto, i centri storici di Accumoli e Amatrice e quelli delle loro frazioni sono stati quasi del tutto distrutti dai devastanti effetti della lunga sequenza sismica. Non solo i beni monumentali quindi, ma tutta l'edilizia storica è stata duramente colpita. Edifici ecclesiastici, palazzi pubblici e privati e strutture museali sono stati successivamente tutelati per quanto possibile realizzando opere di messa in sicurezza che attualmente assicurano ancora la permanenza delle strutture, talvolta ridotte a pochi resti, in attesa del restauro o della parziale o totale ricostruzione. Accumoli ha perso gran parte del patrimonio architettonico, costituito da una cinta muraria¹⁶³, attualmente gravemente danneggiata, numerosi palazzi storici, semidistrutti, chiese, quasi del tutto distrutte o completamente rase al suolo, come quella di S. Francesco (Fig.3.2.14).

Ad Amatrice, le chiese di maggiore rilevanza storica e architettonica di S. Francesco e S. Agostino¹⁶⁴, datate XIV e XV secolo, sono attualmente quasi del tutto crollate (Figg.3.2.10, 3.2.11). Anche la chiesa di S. Emidio¹⁶⁵, sede del museo Civico, è semidistrutta. Resiste, molto danneggiata, la torre civica, divenuta ormai il simbolo della potenza catastrofica del terremoto (Fig.3.2.13). In migliori condizioni si trovano numerose chiese nelle frazioni, fra le quali i due santuari della Madonna della Filetta¹⁶⁶ e dell'Icona Passatora¹⁶⁷, di grande importanza devozionale e artistica, custodendo al loro

¹⁶³ È necessario precisare che della cinta muraria di Accumoli, già al momento del sisma, rimanevano pochi resti. Proprio per questo però era considerata la più significativa testimonianza medievale della storia della cittadina. Oggi ne restano solo alcuni tratti: di due porte restaurate di recente e il tratto adiacente ad un palazzo.

¹⁶⁴ Queste chiese sono oggetto di studio nel capitolo quinto alla lettura del quale si rimanda per un maggiore approfondimento.

¹⁶⁵ La chiesa di Sant'Emidio, già della Madonna delle Laudi, fu edificata nel XIV secolo, secondo la tradizione sulle rovine di un tempio pagano. Il campanile è strutturalmente una torre urbana, simile stilisticamente alla torre civica di Amatrice, da cui si differenzia per la parte terminale che si conclude con una vela, aggiunta contestualmente alla costruzione della chiesa. Dal 2002 l'edificio ospitava il Museo Civico, dedicato al pittore, architetto e scultore Cola Filotesio dell'Amatrice. Il Museo conservava al suo interno, oltre alla Sacre Famiglia, dipinto dello stesso Cola Filotesio, importanti oggetti d'arte, testimonianza della cultura locale, tra cui il reliquiario della Madonna di Filetta e le croci processionali di Pinaco-Arafranca e Preta, realizzate nel XV secolo dall'orafo Pietro Paolo Vannini. Già dai primi giorni di gestione dell'emergenza sismica le opere sono state via via liberate dalle macerie e trasportate al Deposito dei Beni Mobili, allestito presso la Scuola Forestale di Cittaducale, in provincia di Rieti.

¹⁶⁶ Il santuario della Madonna della Filetta fu costruito nel 1472 sul luogo in cui si ritenne fosse avvenuto un miracolo. Una giovane pastorella, dopo essersi persa durante un temporale scoppiato nel giorno dell'Ascensione, vide cadere dal cielo su un cespuglio un cammeo, radioso di luce, nel quale credette di riconoscere l'immagine della Madonna, riuscendo a ritrovare la strada di casa. La vicenda è illustrata dagli affreschi absidali di Pier Paolo da Fermo che rappresentano Ascensione, Annunciazione, Profeti, i Santi Pietro e Paolo, la pastorella adorante l'immagine, la Costruzione della chiesa e la prima processione verso Amatrice della pastorella con il cammeo.

¹⁶⁷ Il Santuario dell'Icona Passatora è stato edificato nel corso del XIV secolo, intorno ad una edicola a tempietto che racchiude l'immagine della Vergine risalente al XIII secolo. L'interno della chiesa è riccamente affrescato, la maggior parte delle opere sono del pittore amatriciano Dionisio Cappelli. Su tutte spicca decisamente la Madonna in Trono col Bambino, nell'atto di sorreggere la città di Amatrice in miniatura.

interno preziosi cicli di affreschi quattrocenteschi (Fig.3.2.12). Il tessuto edilizio storico risulta ancor più compromesso, in quanto alle distruzioni causate dalle scosse di terremoto si è aggiunta l'azione di demolizioni programmate per ragioni di sicurezza, che hanno in molti casi contribuito alla perdita pressoché totale degli edifici in molti centri storici.

3.2.2 Principali danni nelle Marche

Data la vastità del territorio marchigiano colpito dai sismi, sono innumerevoli i beni architettonici che hanno riportato danni più o meno gravi. I centri storici più colpiti sono situati in provincia di Ascoli Piceno. Tra questi, come già citato, Arquata del Tronto e Pescara del Tronto sono andate quasi del tutto distrutte, ma sussistono gravissimi danni anche ad Acquasanta Terme, Montegallo, Montefortino, Castelsantangelo sul Nera e Amandola. In zone meno prossime agli epicentri dei sismi, come per esempio nel centro storico di Camerino, molti edifici storici, compreso il Duomo¹⁶⁸, sono stati gravemente lesionati. Altri complessi ecclesiastici particolarmente importanti, in quanto espressione dell'architettura romanica marchigiana, come l'Abbazia dei santi Ruffino e Vitale (Fig.3.2.15), l'Abbazia dei Santi Vincenzo e Anastasio e la chiesa di San Pietro in Castagna ad Amandola; La Pieve di Sant'Angelo in Montespino a Montefortino; le chiese di San Giorgio all'Isola e di San Lorenzo in Vallegrascia a Montemonaco (Fig.3.2.16), la chiesa di S. Francesco a Mirandola (Fig.2.2.17); hanno riportato danni anche molto pesanti. Numerosi sono anche i castelli e le fortezze danneggiati, fra i quali vanno ricordati la Rocca di Arquata del Tronto (Fig.3.2.18), scampata alla distruzione totale che ha connotato tutto il centro storico, ma gravemente danneggiata, Castel di Luco (Fig.3.2.19) e il Castello di Montalto (Fig.3.2.20).

3.2.3 Principali danni in Umbria

Sebbene sin dal 24 agosto 2016 in Val Nerina si sono registrati consistenti danni in numerosi centri storici, in Umbria il bilancio si è decisamente aggravato nell'ottobre del 2016, non tanto per l'estensione dei centri storici colpiti, quanto in termini di gravità dei crolli registrati, che hanno coinvolto soprattutto importanti chiese a Norcia. Con la scossa del 30 ottobre, la basilica di San

Interessante anche l'altro affresco che adorna il pilastro destro e rappresenta la Madonna in trono col Bambino tra gli Angeli e Sant'Antonio Abate e Santa Lucia, dello stesso autore, conosciuto come il Maestro della Madonna della Misericordia. Altre scene sacre sono rappresentate sotto l'arco dell'abside e sulle pareti laterali.

¹⁶⁸ Già nel 1799 la Cattedrale romanico-gotica crollò a causa di un terremoto. L'attuale Duomo è stato ricostruito al posto dell'antica chiesa nei primi decenni dell'800.

Benedetto¹⁶⁹ e il Duomo di Santa Maria Argentea sono andate semidistrutte (Figg.3.2.21, 3.2.22). Una sorte ancora peggiore è toccata alla piccola ma importante chiesa romanica di San Salvatore in Campi di Norcia (Figg.3.2.23, 3.2.24), che al suo interno custodiva preziosissimi cicli di affreschi. I minuti frammenti di questi sono attualmente oggetto di intervento da parte dell'Istituto Superiore per la Conservazione e il Restauro di Roma. Sorprende come il tessuto edilizio storico diffuso di Norcia e degli altri centri umbri colpiti abbia resistito molto meglio rispetto a quello dei centri laziali e marchigiani nonché rispetto alle emergenze monumentali della cittadina. Certamente, in tutti i centri della Val Nerina erano stati effettuati, a partire dal 1979 prima e dal 1998 poi, i necessari lavori di miglioramento sismico degli edifici storici, che però sembrano non aver ben funzionato sulle chiese. L'unico piccolissimo borgo che ha riportato danni gravissimi diffusi nel tessuto edilizio storico è quello di Castelluccio di Norcia ma, se si tengono in considerazione la sua prossimità all'epicentro del sisma del 30 ottobre e l'intensità molto elevata di questo, tale da comportare deformazioni geologiche permanenti nella piana di Castelluccio, si può senza dubbio affermare che abbia resistito molto di più di Amatrice, Accumoli o Arquata del Tronto.

3.2.4 Principali danni in Abruzzo

In Abruzzo i danni subiti dal patrimonio storico edilizio sono stati limitati principalmente ai centri più prossimi all'area epicentrale del sisma del 24 agosto: Campotosto, Capitignano e Montereale. Presso questi abitati il 18 e 19 gennaio sono stati localizzati gli epicentri delle ultime scosse della sequenza sismica, di magnitudo superiore a 5. Il più danneggiato è stato il piccolo centro storico di Campotosto. La chiesa di Capitignano ha subito gravi danni alla base della cupola e lesioni in facciata (Fig.3.2.25). Gli effetti del sisma abruzzese del gennaio 2017 sono stati aggravati dalle rigide condizioni meteorologiche di quei giorni, a causa delle quali, in concomitanza dell'evento sismico, si è consumata la tragedia dell'Hotel Rigopiano a Farindola. Molti crolli, nelle aree laziali a confine, si sono verificati per il cumulo delle sollecitazioni sismiche pregresse e il peso della neve sulle strutture.

¹⁶⁹La storia conservativa della Basilica di San Benedetto, riedificata più volte fra XIV e XVIII secolo, è stata già fortemente segnata dagli eventi sismici.

3.2.5 Definizione dell'ambito territoriale d'interesse

In tutti i territori gravemente colpiti dai sismi sono emersi problemi legati alla qualità costruttiva degli edifici storici, talvolta dotati di murature a tessitura irregolare, prive di ammorsature fra setti, o murature a sacco senza sufficienti diatoni di collegamento fra paramenti. Molti edifici storici sono stati nel tempo sottoposti a interventi per la ristrutturazione o il miglioramento sismico nei quali non è stato tenuto in conto o ben interpretato l'effettivo funzionamento delle strutture. In molti casi è stato segnalato il problema della scarsa qualità o delle pessime condizioni conservative delle malte nei nuclei murari e negli allettamenti, caratteristiche che hanno determinato crolli a maceria minuta. La loro debolezza non ha infatti permesso l'attivarsi di cinematismi per parti e ha reso quindi anche piuttosto difficile l'interpretazione delle dinamiche e delle cause effettive dei collassi¹⁷⁰. Come già detto, la zona di Amatrice è stata particolarmente segnata dall'azione della sequenza sismica. Nel territorio, peraltro, è emerso un dato ulteriore su qualità e natura delle malte storiche. Queste fin dalle prime indagini, si sono mostrate friabili e con una rilevante componente terrosa. A tali caratteristiche della malta è stata spesso imputata la causa dei danneggiamenti degli edifici, favorendo la scelta di soluzioni demolitive del tessuto urbano piuttosto che conservative. Quel che rimane del centro principale è limitato a poche porzioni di edilizia specialistica vincolata non atterrate dalle numerose scosse sismiche anche perché presidiate in tempo da interventi di messa in sicurezza. Di questa parte del patrimonio culturale locale ci si occupa nella presente tesi nel capitolo quinto, in cui si espongono le pratiche di selezione delle macerie di beni tutelati e il loro trasporto e sistemazione in deposito. Il tema verrà ulteriormente ripreso per illustrare l'applicazione diretta della proposta di catalogazione delle macerie e delle procedure diagnostiche effettuate direttamente in deposito.

Del tessuto edilizio storico rimane una più consistente traccia nelle frazioni di Amatrice, nelle quali le operazioni di rimozione delle macerie e di demolizione programmata sono partite più tardi, dando la possibilità a ricercatori e studiosi di poterne osservare direttamente ogni caratteristica. Nella fattispecie, la presente ricerca, dedicata allo studio delle caratteristiche dei materiali da costruzione, ha selezionato i casi di studio in quest'ambito perché la tradizione costruttiva locale denuncia, ancor più che in altri casi, un forte legame con le risorse materiche del luogo. Ciò conferisce ai tessuti urbani

¹⁷⁰ Per maggiori approfondimenti si propone la consultazione del testo "Prima ricerca/rapporto sul comportamento ai sismi 2016 e sul danno ulteriore subito da edifici storici già consolidati nell'Umbria e nelle Marche dopo i terremoti del 1979 e 1997. Primi spunti per l'indirizzo degli ulteriori interventi di riparazione/miglioramento e di approfondimenti scientifici", a cura di Francesco Doglioni, Luciano Marchetti e Claudio Modena, allegato alle "Linee di indirizzo metodologiche e tecniche per la ricostruzione del patrimonio culturale danneggiato dal sisma del 24 agosto 2016 e seguenti", disponibile online sul sito del MiBACT all'indirizzo:

beniculturali.it/mibac/multimedia/MiBAC/documents/feed/pdf/ALLEGATO%202-imported-75216.pdf
(data ultima consultazione: 23/11/2020)

sopravvissuti al sisma un alto valore storico-culturale, in quanto testimonianza dello sviluppo di una tradizione costruttiva che cerca di sfruttare al meglio le risorse disponibili. La comprensione di questa tradizione costruttiva spontanea, se sostenuta da approfondimenti anche di tipo scientifico, può favorire l'attribuzione di un valore identitario al costruito storico, facilitando la sensibilizzazione delle amministrazioni locali a seguire indirizzi più conservativi. Non si può peraltro non considerare anche il grande valore paesaggistico di questi luoghi che, come sarà possibile notare nei capitoli successivi, mostrano una grande armonia con il contesto, anche in funzione dell'utilizzo della pietra locale, ben visibile in affioramento e sui versanti montuosi.

Si è ritenuto importante affrontare nello specifico la caratterizzazione delle malte storiche. L'indagine diagnostica condotta a fini conoscitivi è riportata nel quarto capitolo di questa tesi. I risultati dello studio aprono a ulteriori valutazioni inerenti alla possibilità di intervenire con metodi compatibili sugli edifici ancora esistenti.

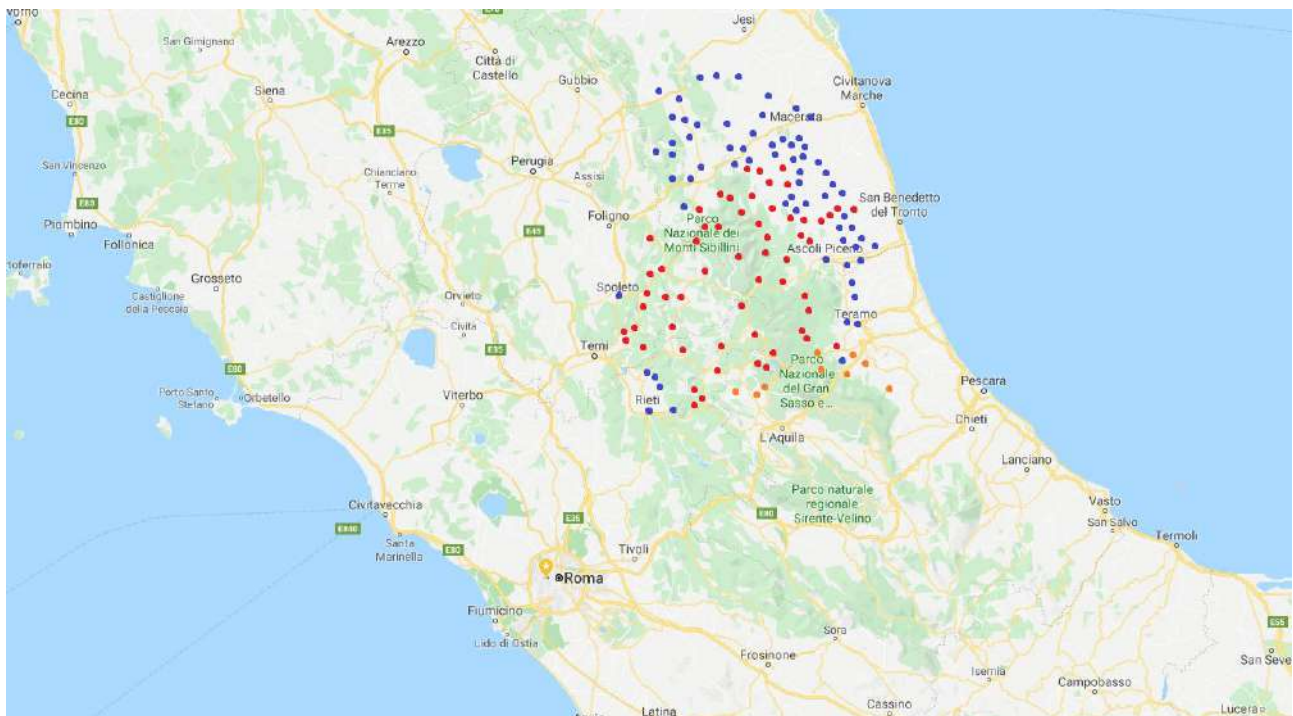


Figura 3.2.1: Distribuzione delle principali zone colpite dai sismi del 2016 e 2017. In rosso le aree colpite dal sisma del 24 agosto 2016, in blu le aree colpite dai sismi dal 26 al 30 ottobre 2016, in arancio le aree colpite dal sisma del 18 gennaio 2017 (Elaborazione grafica autore).

**Numero dei Comuni colpiti dai sismi dal
24 agosto 2016 al 18 gennaio 2017 per
ogni Regione coinvolta**

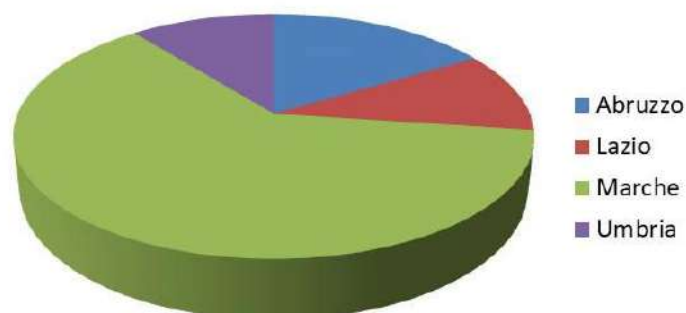


Figura 3.2.2: Diagramma a torta rappresentate il numero di comuni colpiti dalla sequenza sismica in centro Italia per ogni regione coinvolta. (Elaborazione grafica autore).

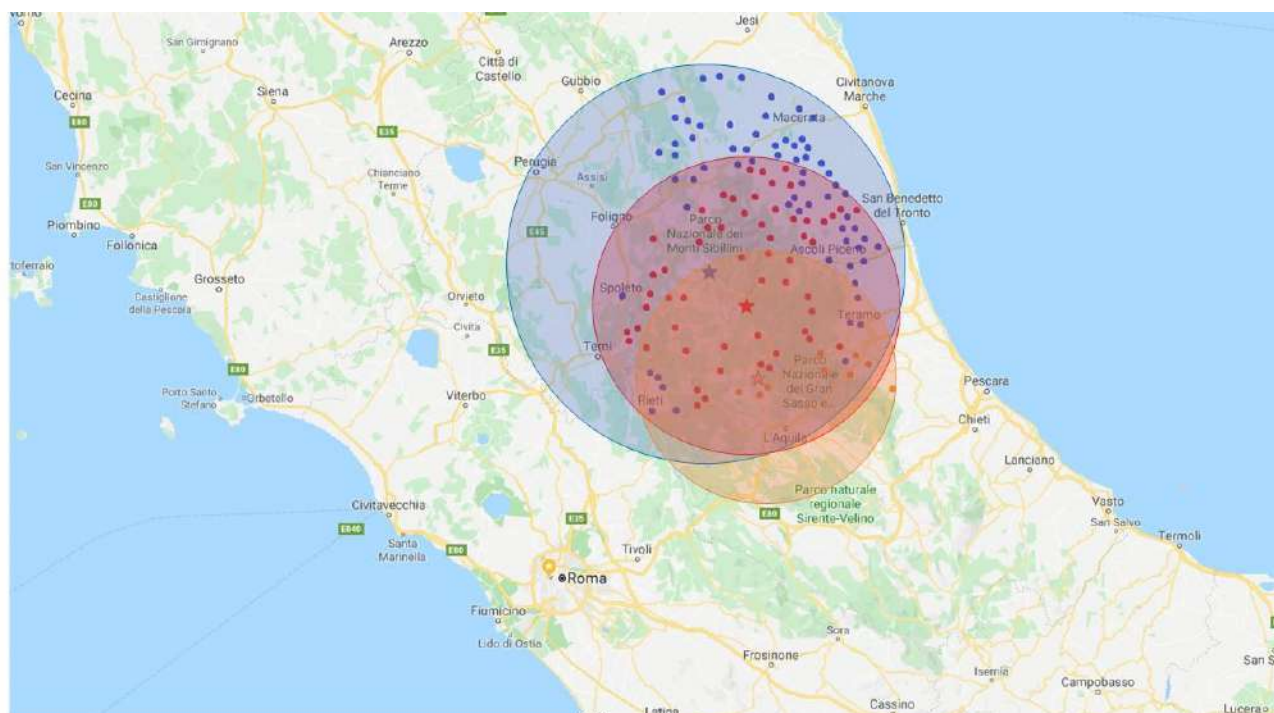


Figura 3.2.3: Sovrapposizione delle aree sollecitate nella sequenza sismica. In rosso è rappresentato, a partire dall'epicentro (Accumoli), il raggio d'azione, in termini di danni prodotti, dal sisma del 24 agosto del 2016, in blu quello del 30 ottobre, in arancio quello del 18 gennaio successivo. Si evidenziano ampie aree di sovrapposizione e si individua l'area centrale sottoposta all'azione diretta di tutti e tre gli eventi sismici principali. (Elaborazione grafica autore).



Figura 3.2.4: Immagine satellitare del centro storico di Accumoli, quasi del tutto distrutto. Dati Google Earth, 2018.



Figura 3.2.5: Immagine satellitare del centro storico di Amatrice, quasi del tutto distrutto. Dati Google Earth, 2018.



Figura 3.2.6: Immagine satellitare del centro storico di Illica, quasi del tutto distrutto. Dati Google Earth, 2018.



Figura 3.2.7: Immagine satellitare del centro storico di Arquata del Tronto, quasi del tutto distrutto. Dati Google Earth, 2018.



Figura 3.2.8: Immagine satellitare del centro storico di Pescara del Tronto, completamente distrutto. Dati Google Earth, 2018.



Figura 3.2.9: Immagine satellitare del centro storico di Castelluccio di Norcia, con gravi perdite nel tessuto urbano. Dati Google Earth, 2018.



Figura 3.2.10: Foto da drone della Chiesa di S. Francesco ad Amatrice, opere di messa in sicurezza nell'aprile del 2017. (vigilfuocotv.it)(data ultima consultazione 20/07/20)



Figura 3.2.11: Chiesa di S. Agostino ad Amatrice, dopo le scosse di terremoto del 18 e 19 gennaio 2017. (vigilfuocotv.it)(data ultima consultazione 20/07/20)



Figura 3.2.12: Messa in sicurezza degli affreschi nel Santuario della Madonna della Filetta ad Amatrice. (vigilfuocotv.it)(data ultima consultazione 20/07/20)



Figura 3.2.13: Messa in sicurezza della Torre Civica di Amatrice. (vigilfuocotv.it)(data ultima consultazione 20/07/20)



Figura 3.2.14: Condizioni della chiesa di S. Francesco ad Accumoli a seguito della scossa di terremoto del 24 agosto 2016. Con gli eventi sismici successivi la chiesa è completamente crollata.(www.comune.accumoli.ri.it)(data ultima consultazione 20/07/20)



Figura 3.2.15: Opere di messa in sicurezza all'interno della chiesa abbaziale dei Santi Ruffino e Vitale ad Amandola. (comune.amandola.fm.it)(data ultima consultazione 20/07/20)



Figura 3.2.16: Opere di messa in sicurezza della chiesa di San Lorenzo in Vallegrascia a Montemonaco. (vigilfuocotv.it)(data ultima consultazione 20/07/20)



Figura 3.2.17: Condizioni attuali della chiesa di S. Francesco a Mirandola.(www.comune.mirandola.mo.it) (data ultima consultazione 20/07/20)



Figura 3.2.18: Rocca di Arquata del Tronto, visibili i danni in sommità della torre, con i merli quasi del tutto crollati. (www.comune.arquatadeltronto.ap.it)(data ultima consultazione 20/07/20)



Figura 3.2.19: Condizioni attuali del borgo fortificato di Castel di Luco. (www.comune.acquasantaterme.ap.it)(data ultima consultazione 20/07/20)



Figura 3.2.20: Foto da drone del Castello di Montalto, a seguito del sisma del 30 ottobre 2016.(www.comune.cessapalombo.mc.it)(data ultima consultazione 20/07/20)



Figura 3.2.21: Opere di messa in sicurezza della facciata della Basilica di San Benedetto a Norcia, rimasta isolata a seguito del crollo totale del corpo centrale della chiesa. (vigilfuocotv.it)(data ultima consultazione 20/07/20)



Figura 3.2.22: Foto da drone delle condizioni del Duomo di Santa Maria Argentea di Norcia dopo la scossa di terremoto del 30 ottobre 2016. (vigilfuocotv.it)(data ultima consultazione 20/07/20)



Figura 3.2.23: Resti della chiesa di San Salvatore in Campi di Norcia, al di sotto della struttura a protezione delle macerie realizzata dall'ISCR per permettere il recupero dei frammenti degli affreschi. (sansalvatoreincampi.beniculturali.it)(data ultima consultazione 20/07/20)



Figura 3.2.24: Messa in sicurezza dei pochi lacerti di affresco rimasti sui resti della chiesa di San Salvatore in Campi di Norcia. (sansalvatoreincampi.beniculturali.it)(data ultima consultazione 20/07/20)



Figura 3.2.25: Messa in sicurezza della chiesa di Capitignano. (vigilfuocotv.it)(data ultima consultazione 20/07/20)

3.3 Il territorio colpito dai sismi: sismicità storica.

Lo studio storico degli eventi sismici si basa principalmente sulla ricerca di documenti storici che testimoniano e datano un terremoto avvenuto in una determinata zona. Dalla lettura e interpretazione di quanto riportato dalle fonti storiche è possibile attribuire una stima dell'intensità sismica in scala Mercalli e Richter. Nel territorio di Amatrice non esistono documenti antecedenti al XVII su eventi sismici. Studi paleosismici hanno dimostrato che la faglia dei Monti della Laga si sia ripetutamente attivata negli ultimi 8000 anni¹⁷¹. Pertanto, sicuramente anche in date storiche antecedenti al XVII secolo si sono verificati sismi di cui però non si hanno notizie né tracce evidenti. Il più antico terremoto documentato risale al luglio del 1627, con epicentro ad Accumoli e un'intensità stimata di grado 7-8 MCS e magnitudo 5.3. Le notizie sui danni subiti dagli edifici sono scarse, ma sono documentate distruzioni di fabbricati importanti ad Accumoli fornite nel 1829 da Agostino Cappello¹⁷². Nel 1901 Mario Baratta, nel suo saggio "I terremoti d'Italia: Saggio di storia, geografia e bibliografia sismica nazionale" precisa che nello stesso anno si registrò un evento sismico anche nel Gargano e che il citato autore, essendo a conoscenza di tale evento, abbia attribuito quanto raccolto nelle memorie cittadine, da egli consultate, allo stesso evento. Ciò viene ritenuto improbabile dal Baratta, in funzione della distanza geografica tra le due regioni. Baratta giunge alla conclusione che vi sia stata una sovrapposizione di due eventi distinti a livello di datazione e area geografica. Se così fosse, il sisma del 1627 potrebbe anche non essersi mai verificato e si potrebbe ipotizzare che l'evento a cui si riferisce Agostino Cappelli sia in effetti un altro sisma, ovvero quello del 1639, di cui si dispone di un'ampia documentazione, redatta pochi giorni dopo l'evento, pertanto più affidabile, a cura del cronista Carlo Tiberii¹⁷³. La relazione di Carlo Tiberii è intitolata significativamente: "*Nuova e vera relatione del terribile, e spaventoso terremoto successo nella città della Matrice, e suo stato,*

¹⁷¹ La paleosismica è la disciplina che studia la storia dell'attività delle faglie attraverso l'osservazione delle loro caratteristiche stratigrafiche e la datazione isotopica di campioni di sedimento prelevati da strati assimilabili ad un evento sismico. I metodi di datazione isotopica possono teoricamente coprire anche epoche recenti, ma la misura è poco affidabile. Molto precise invece sono le datazioni di strati molto antichi, motivo per il quale alla disciplina è associato il prefisso paleo.

¹⁷² CAPPELLO 1829, pag. 108: "*Segnavasi con Francia la Pace, o per dir meglio sospendevasi per poco la guerra nel marzo 1627: ed ecco che nel luglio dello stesso anno un orribile terremoto, che recando grande mortalità e guasti gravissimi in Puglia, fece tremare ancora la nostra provincia e la patria nostra. Tre chiese e varie case furono rese inservibili. Il palazzo del quarto di S.Lorenzo coll'interno teatrino crollava per intero; il custode colla moglie vi perivano.*"

¹⁷³ BARATTA, 1901, pag. 503: "*Il citato autore (CAPPELLO 1829) scrive che il terremoto di Puglia del luglio fece tremare anche la provincia aquilana e Accumoli stesso. [...] io non sono propenso a ciò credere: Accumoli dista in linea retta oltre Km 100 da Ortona, ultima città che da quella parte sappiamo essere stata danneggiata. Tenderei ad ammettere che o il terremoto di Accumoli sia avvenuto per pura incidenza contemporaneamente all'altro, oppure che l'attività del centro garganico abbia indirettamente concorso a risvegliare il centro aquilano, o che infine i due fenomeni non siano avvenuti sincronicamente, ma che solo posteriormente, siano state confuse le date e quindi identificati.*"

con patimento ancora di Accumolo, e luoghi circonvicini, sotto li 7 del presente mese di ottobre 1639, con la morte compassionevole di molte persone, la perdita di bestiami d'ogni sorte, e con tutto il danno seguito fino al corrente giorno. Con ogni diligenza, e certezza descritta da Carlo Tiberij Romano, per memoria di un caso così miserando, e lagrimevole.” Il sisma fu caratterizzato da una sequenza di cinque principali scosse: le prime quattro nella notte tra il 7 e l'8 ottobre, la quarta e più forte il 14 dello stesso mese¹⁷⁴.

Notizie relative ad Amatrice, Campotosto e Accumoli e ad altri piccoli villaggi nei dintorni vengono puntualmente registrate, con la relativa descrizione dei danni. È interessante come si possano tutt'oggi identificare alcune frazioni con i villaggi descritti. Ad esempio, di San Martino viene scritto che è crollato tutto. Effettivamente nell'attuale località di San Martino non c'è un vero e proprio centro urbano, ma solo case sparse e una chiesa, oggi nuovamente crollata. Si potrebbe ipotizzare che il villaggio di San Martino non venne effettivamente più ricostruito. Al contrario Scai, che ha un tessuto urbano piuttosto articolato, deve essere stata ricostruita e magari ampliata dopo il 1639, dal momento che Tiberii la descrive come distrutta interamente. Viene inoltre riportata notizia del crollo quasi totale dell'intero complesso dell'Abazia di San Lorenzo a Trione, la quale effettivamente non fu più ricostruita e i cui ruderi si trovano oggi coperti dalle estese aree boschive presso la frazione di Castel Trione¹⁷⁵. Per quanto riguarda il centro urbano di Amatrice vengono menzionati gravi danni ad un'ala

¹⁷⁴ TIBERII 1639, pag. 4: *venerdì a di sette del corrente Mese di Ottobre 1639 mentre fuori dal pensiero d'ogni sinistro avvenimento ciascuno nella Città della Matrice, e ne' luoghi contigui stava riposando, fu sentito alle sette hore di notte in circa un improvviso scuotere di Case, quale apportò non poco rimore; ma oltre, che svegliò ciascheduno, lasciò tal paura, che non sapevano appigliarsi a nessuna risoluzione. Si fermò, e quietò il Terremoto per spatio d'un quarto d'hora; onde restorno sorpresi da stupore, e spavento. Ritornò poi di nuovo con maggior scossa il Terremoto, sì che fece risolver molti a salvarsi la vita, come presaghi di futura rovina, essendo segni chiari e manifesti. Vi cadde un intervallo di un altro quarto di hora alla spaventosa rovina. Non vollero alcuni credere, non parendogli potere avvenire; onde rimasero coperti, e estinti sotto i precipizi. [...] Si perseverava nella penitenza, e nessuno si assicurava di accostarsi per buon spatio alla propria habitatione, ancorchè si persuadessero di non dover essere più travagliati dal Terremoto, quando il seguente venerdì, che fu a di 14 del detto Mese d'Ottobre alla medesima hora con maggior violenza si scosse la terra, con la rovina nella Matrice di altre case, e dell'infrascritti Villaggi.*

¹⁷⁵ TIBERII 1639, Pag.7: *Campo Tosto è rovinato parte. San Martino tutto. Collalto a mal termine. Pinaca parte. Filetta e Nescaia tutte. L'abadia di San Lorenzo sotto il Vescovado di Ascoli quasi tutta. Padarga parte. In Cantone Villa è restata una semplice casa. Corva è distrutta. Forcella tutta. Capricchio bona parte. La Leia poco. [...] Saletta poco. Corsentino quasi tutto. Casale tutto. La Rocca destrutta. Torreto né meno il segno. A Colle Basso è restata una casa sola. Pasciano bona parte. Santo Iorio tutto fracassato. Colle Moresco tutto. Si distese il Terremoto anco in Accumolo luogo confinante alla Matrice, dove, oltre l'haver nel medesimo tempo destrutte molte persone non sapendosene fin'hora certo numero, ma solo la caduta di casa con morte di undici persone, rovinò la Chiesa de Padri Francescani con la sprofondatione di tutta la loro Vigna, salvì però detti Padri, con incredibile, e commune spavento. La Rocca de Salli è a fatto rovinata. Poggio Cancellò appresso a Monte Reale danneggiato dalla parte del palazzo del Sig. Lodovico Cerasi padrone di detto luogo, salva però Sua Signoria, e la sua Famiglia, e in Monte Reale è rovinato il Palazzo del Signor Giovanni Paolo Ricci.*

del Palazzo Orsini¹⁷⁶ e il crollo completo del Palazzo del Reggimento. In maniera invece più generica si parla del crollo di gran parte delle chiese e del tessuto urbano¹⁷⁷. La vicenda del crollo di parte del Palazzo Orsini è materialmente testimoniata da un'epigrafe posta su un architrave di una porta, nel palazzo stesso (Fig.3.3.1), che ad oggi si trova nuovamente sepolta dalle macerie dal 24 Agosto 2016¹⁷⁸.

Dalle descrizioni riportate nel testo di Carlo Tiberii si può ipotizzare una stima dell'intensità del sisma, che si attesta sul grado 9-10 MCS e magnitudo 6.2.

A quello del 1639 seguirono altri due eventi d'importante intensità, uno nel 1646, con epicentro localizzato sui Monti della Laga di grado stimato al 9 MCS o magnitudo 5.9, e un altro nel 1672, con epicentro a Montereale, stimato 7-8 MCS o magnitudo 5.3. La fonte di questi ultimi due sismi è Giovanni Vivenzio che li menziona nel suo trattato intitolato "*Istoria e teoria de' tremuoti in generale ed in particolare di quelli della Calabria e di Messina del MDCCLXXXIII*"¹⁷⁹. Successivamente, i terremoti del 1703 (Valnerina-L'Aquila), con epicentri localizzati a una considerevole distanza, registrano un'elevata intensità, stimata di grado 10-11 MCS o magnitudo 6.7 e causarono ulteriori danni anche nel territorio di Amatrice.

¹⁷⁶ TIBERII 1639, Pag.5: *Del Palazzo dell'Eccellentissimo Sig. Alessandro Orsini Principe della Matrice rovinorno doi parti senza offesa di alcuno, trovandosi in tal tempo Sua Eccellenza con la Eccellentissima Signora Principessa sua Consorte con tutta la loro famiglia, e servitù in una Villa detta Santa Iusta per loro diporto, poco distante dalla Matrice, quale non patì in parte alcuna; per lo che si considera, come Sua Divina Maestà habbia voluto preservarli da simil pericolo.*

¹⁷⁷ TIBERII 1639, Pag.5: *Il Palazzo del Reggimento è tutto rovinato, come ancora la maggior parte delle Chiese, Edifici, e Case.*

¹⁷⁸ Testo dell'iscrizione: "*Alexander Maria Ursinus ex antiquissimis Bracchiani dominis Nomenti marchionibus Sicilis ducibus huius civitatis ac status princeps marchio Perne et baro Campitosti hanc domum confecit terremotibus anno domini 1639 partem diruta restauravit munivit et ornavit partim a fundamentis ampliavit.*", ovvero "*Alessandro Maria Orsini dell'antichissima stirpe dei signori di Bracciano, marchesi di Mentana e duchi di Selci, principe di questa città e stato, marchese di Perne e barone di Campotosto ha costruito questa casa, ha restaurato, rinforzato e abbellito la parte demolita nei terremoti dell'anno del Signore 1639 e in parte l'ha ampliata dalle fondamenta.*"

¹⁷⁹ VIVENZIO 1783



Figura 3.3.1: Epigrafe incisa su un architrave di una porta dentro il Palazzo Orsini ad Amatrice, in memoria dei lavori di ricostruzione eseguiti dopo il terremoto del 1639. (Per gentile concessione del dr. Fabio Galandini, INGV, Roma)

3.4 Caratteristiche morfologiche e litologiche del territorio di Amatrice.

Amatrice sorge ai piedi della catena montuosa dei Monti della Laga, in una vallata detta “Conca Amatriciana”, situata a circa 900 m s.l.m., in un territorio storicamente connesso al passaggio della via Salaria, che proprio in questa zona attraversa l’appennino centrale per dirigersi verso la costa adriatica, affiancandosi al corso del fiume Tronto. Il paesaggio è caratterizzato dai rilievi montuosi che circondano la conca. Emergono principalmente tutti i picchi della catena dei Monti della Laga sul versante orientale di Amatrice, ma sono altrettanto ben visibili le cime delle catene appenniniche del Gran Sasso a Sud Est e dei Monti Sibillini a Nord Ovest. Il versante occidentale è occupato da altri monti, facenti parte del complesso dei Monti reatini, le cui vette sono meno imponenti, non superando i 2000 m di altitudine. Nel dettaglio la catena montuosa dei Monti della Laga è costituita da cinque rilievi principali, tutti visibili da Amatrice: Monte di Mezzo 2155 m s.l.m., Monte Gorzano 2458 m s.l.m, Pizzo Moscio 2411 m s.l.m., Cima Lepri 2445 m s.l.m, Pizzo di Sevo 2419 m s.l.m.(Fig.3.4.1).

Il paesaggio a Sud di Amatrice è caratterizzato dalla presenza del lago artificiale di Campotosto, sorto all’inizio degli anni ’50 per sbarramento del Rio Fucino, le cui acque occupano una vasta depressione di origine tettonica. Nella stessa direzione la più visibile delle cime del massiccio del Gran Sasso è quella del Monte Corvo, 2623 m s.l.m., ma nelle giornate particolarmente limpide si riescono anche a vedere in lontananza il Corno Grande, 2912 m s.l.m., e il Monte Prena, 2561 m s.l.m. (Fig.3.4.2).

Infine, a Nord Ovest dominano il paesaggio il Monte Vettore, 2476 m s.l.m., e l’adiacente Cima del Redentore, 2448 m s.l.m., della catena dei Monti Sibillini (Fig.3.4.3).

I Monti della Laga sono il più elevato rilievo marnoso-arenaceo della dorsale appenninica, che si differenzia notevolmente per conformazione e paesaggio dagli altri rilievi appenninici formati da rocce carbonatiche. Fenomeni di erosione selettiva hanno conferito il caratteristico aspetto ai versanti, con conformazione a gradini (Fig.3.4.4). I versanti sono acclivi e solcati da numerosi corsi d’acqua a regime torrentizio, che danno origine a cascate e piccoli laghetti. La presenza di numerose scarpate e di fenomeni franosi ha favorito l’accumolo a valle di estese coltri detritiche (Fig.3.4.5), frutto della degradazione dei banconi arenacei. Alla base dei monti insistono pertanto ampie distese di terreno argilloso, depositi morenici e grandi blocchi arenacei (Fig.3.4.6; Fig.3.4.7).

Dal punto di vista più strettamente geo-litologico i rilievi della Laga sono formati da strati arenacei molto spessi separati da sottili intercalazioni pelitiche. Alla base del Monte Gorzano e della Cima della Laghetta, come si può ben osservare dalla Carta Geologica della Laga e del Cellino (Fig.3.4.8),

insiste una estesa striscia di affioramento marnoso. La conca amatriciana è caratterizzata da zone di affioramento di strati sottili di tipo pelitico-arenaceo e zone di deposito detritico¹⁸⁰.

¹⁸⁰ Si fornisce un breve glossario di definizione dei litotipi e termini geologici utilizzati nel testo:

Arenaria: Roccia sedimentaria composta da granuli di sabbia (mineralogicamente caratterizzata da abbondante quarzo, feldspati e miche), legati da un cemento (spesso di natura carbonatica) formato per precipitazione chimica dalle acque circolanti.

Argilla: Roccia sedimentaria non litificata, di tipo terrigeno, composta da granuli di dimensioni inferiori a 2 µm, formati da aggregazioni di minerali argillosi (fillosilicati).

Formazione marnoso-arenacea: complesso di sedimenti terrigeni, affioranti nell'appennino centro-settentrionale, caratterizzato dalla stratificazione di masse rocciose di arenaria e strati di argilla e marna. Questo tipo di stratificazione è anche detto Flysch.

Marna: Roccia sedimentaria, di tipo terrigeno, composta da una frazione argillosa e una frazione carbonatica.

Morena: Tipo di accumolo di sedimenti prodotto dall'azione del ghiaccio sulle rocce affioranti. Il deposito morenico non è classato: annegati in una matrice argillosa possono trovarsi da clasti di dimensioni inferiori al cm sino a massi di dimensioni metriche.

Pelite: Roccia sedimentaria, di tipo terrigeno, derivante da un originario sedimento fangoso, composta da granuli di dimensioni inferiori ai 60 µm, formati da aggregazioni di minerali argillosi (fillosilicati).

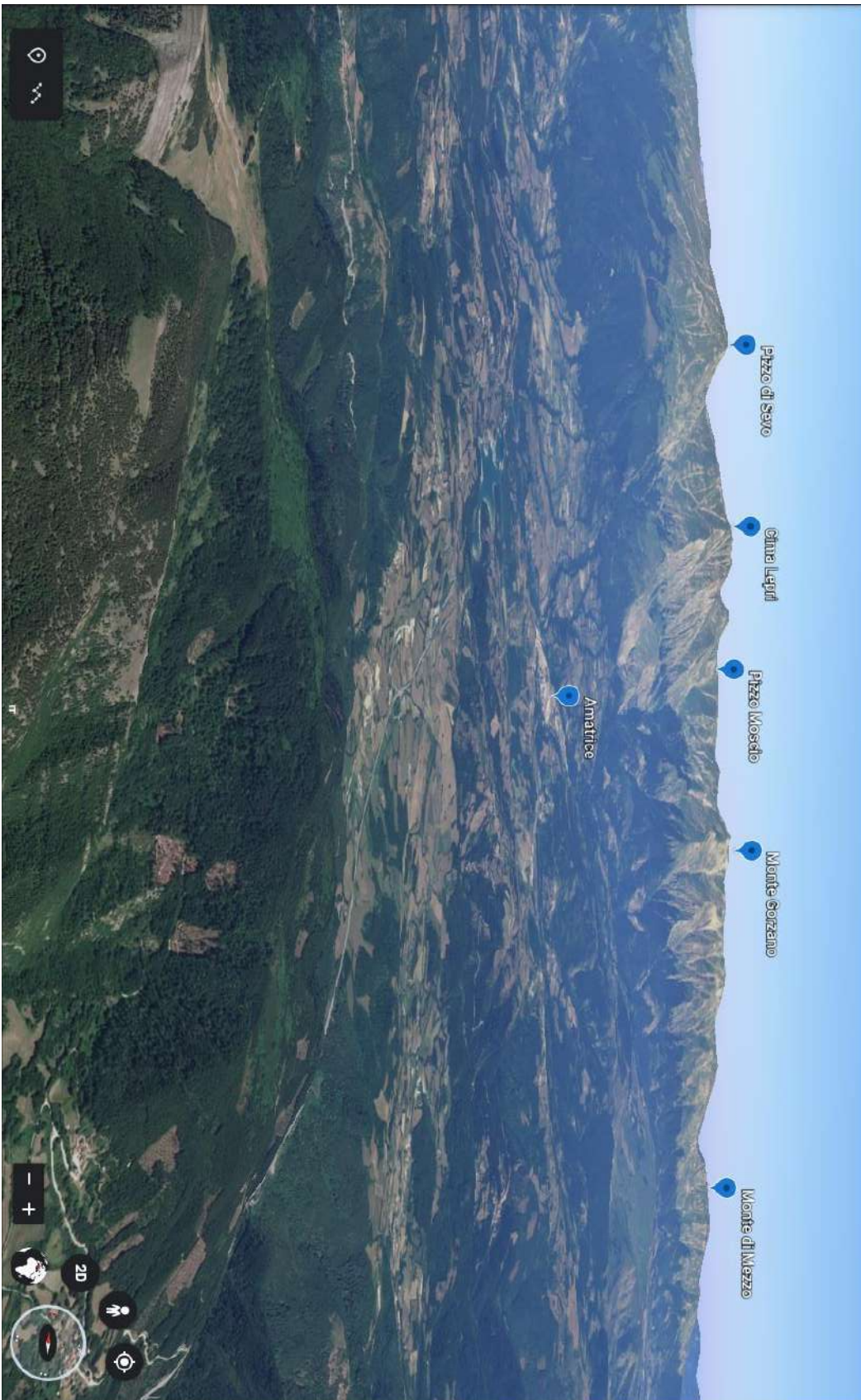


Figura 3.4.1: Veduta di Amatrice, vista da Ovest, con il profilo montuoso delle cime dei monti della Laga. Progetto elaborato con Google Earth.

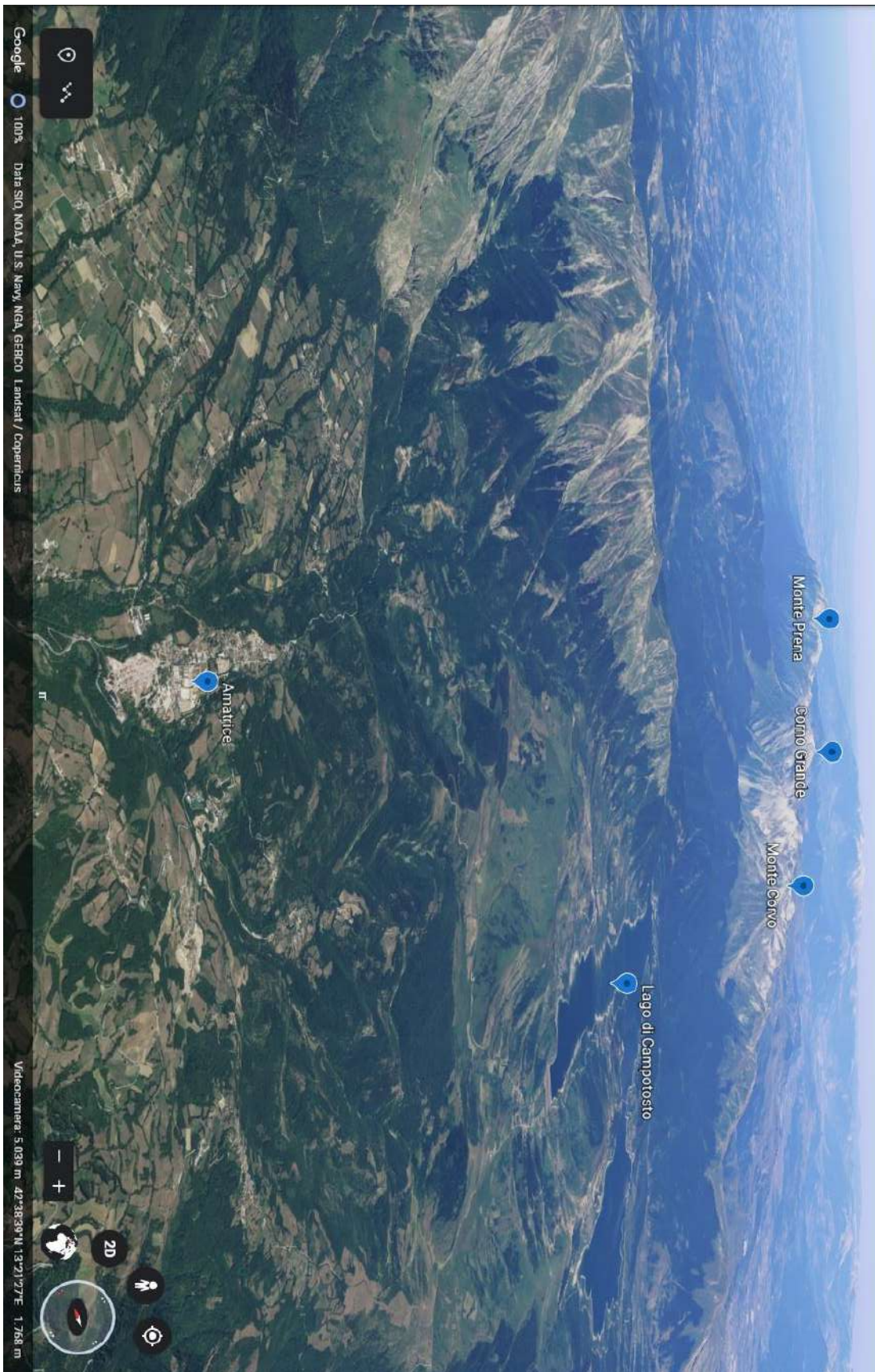


Figura 3.4.2: Veduta di Amatrice, vista da Nord, con il profilo montuoso delle cime del massiccio del Gran Sasso Progetto elaborato con Google Earth.

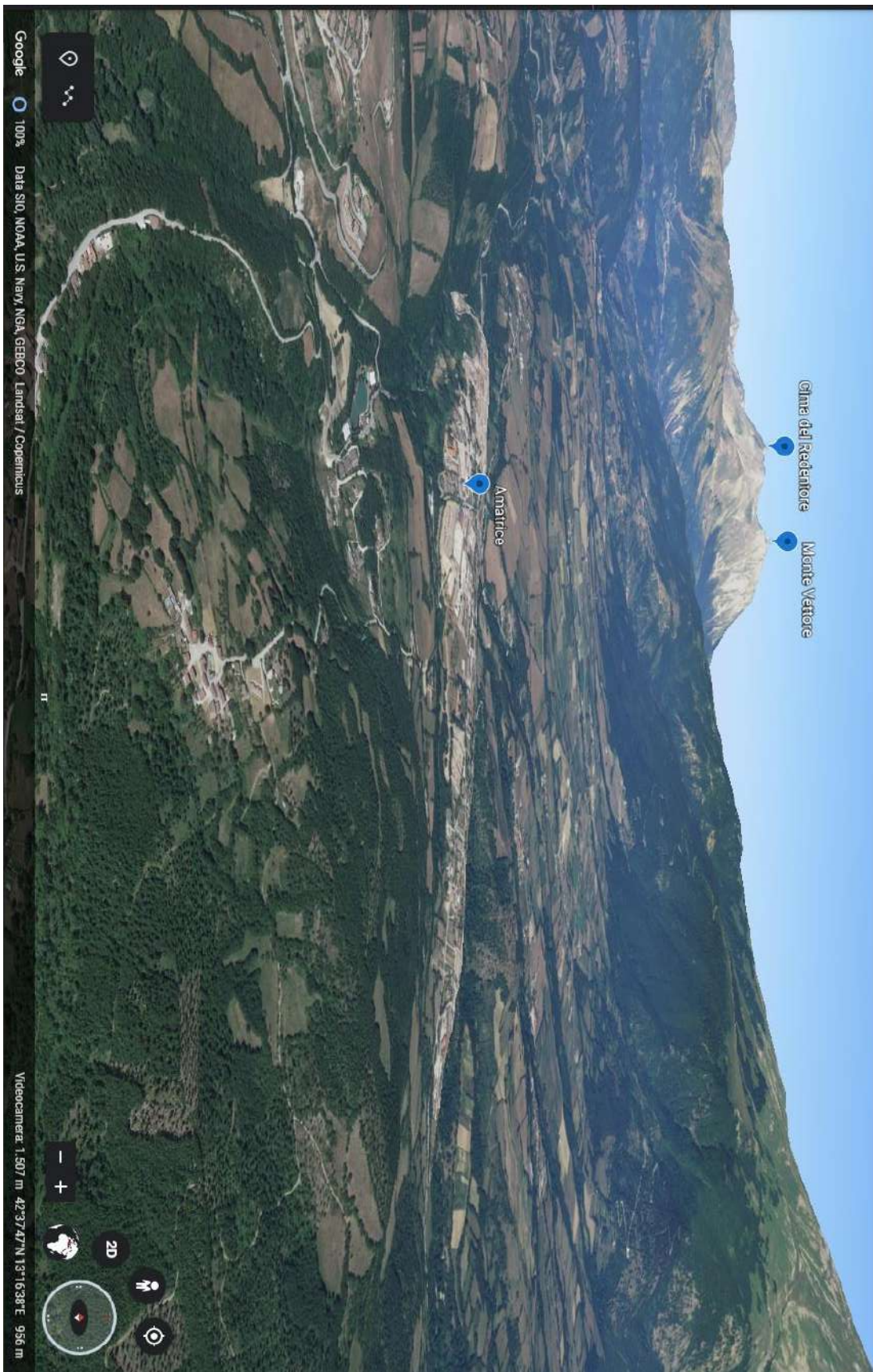


Figura 3.4.3: Veduta di Amatrice, vista da Sud, con il profilo montuoso delle cime dei monti Sibillini. Progetto elaborato con Google Earth.



Figura 3.4.4: Conformazione geologica a gradini di un versante del Monte Gorzano.



Figura 3.4.5: Detriti di degradazione dei banconi arenacei.



Figura 3.4.6: Depositi morenici ai piedi del Monte Gorzano.



Figura 3.4.7: Grandi blocchi arenacei in un'area boschiva ai piedi del Monte Gorzano.

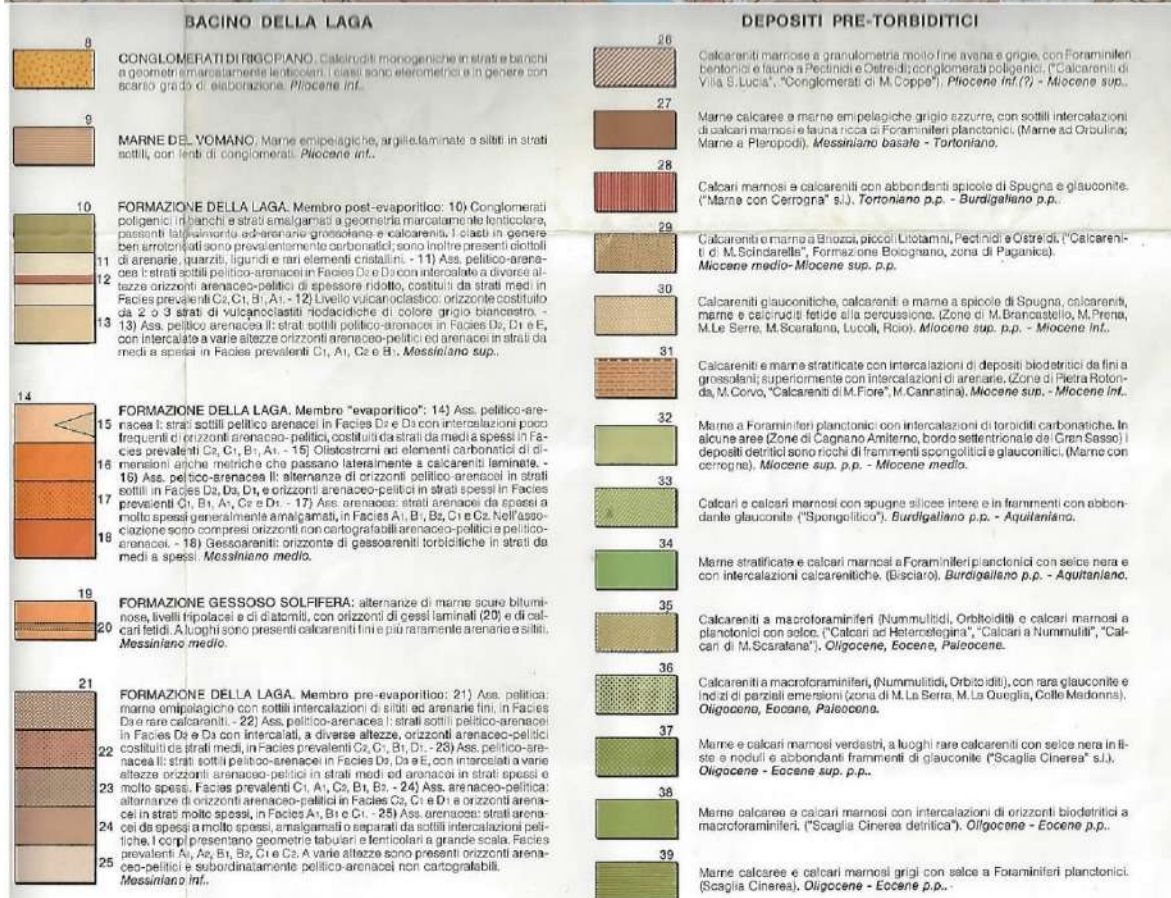
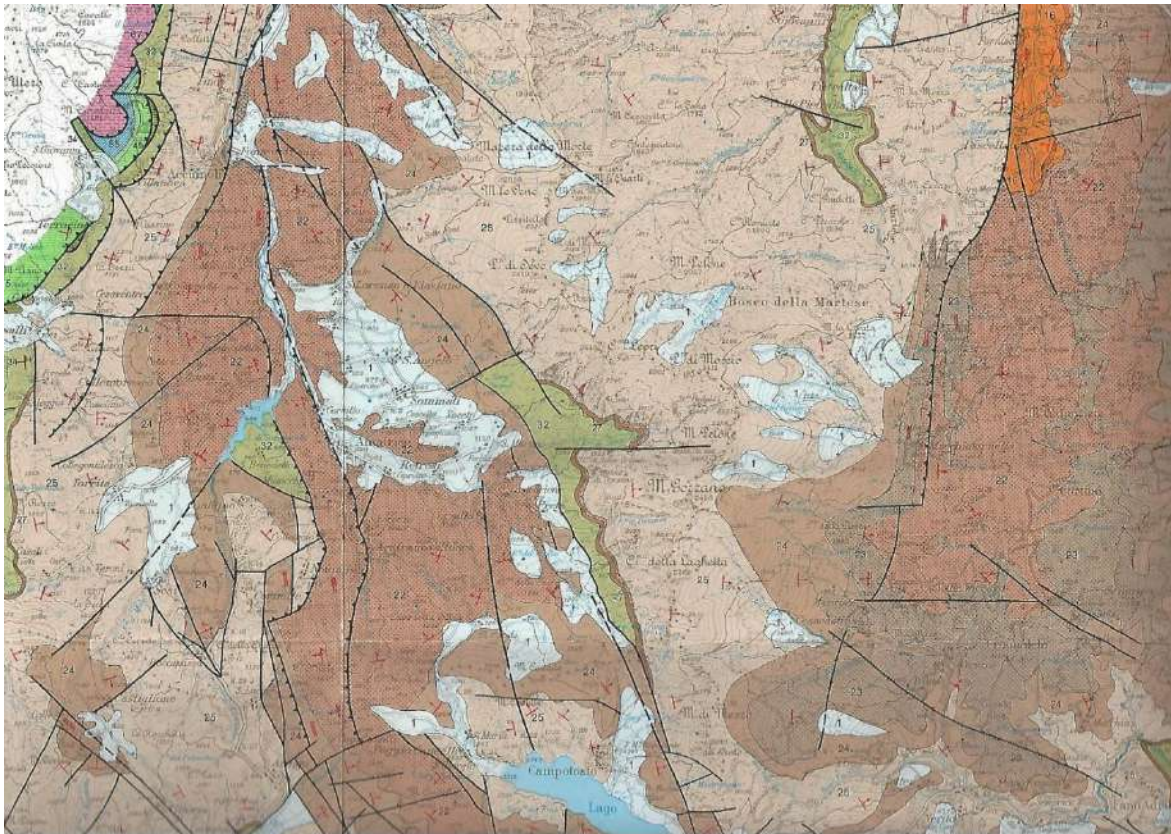


Figura 3.4.8: Stalco della Carta Geologica della Laga e del Cellino (CENTAMORE et AL., 1992).

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

BARATTA 1901: Baratta M.; *I terremoti d'Italia; saggio di storia, geografia e bibliografia sismica italiana*; Fratelli Bocca; Torino, 1901

BIGI, MOSCATELLI, MILLI 2008: Bigi S., Moscatelli M., Milli S.; *The Laga basin: stratigraphic and structural settings*; in proceedings of 70th EAGE conference and Exhibition, Roma, 2008

BIGI ET AL. 2009: Bigi S., Milli S., Corrado S., Casero P., Aldega L., Botti F., Moscatelli M., Stanzione O., Falcini F., Marini M., Cannata D.; *Stratigraphy, structural setting and thermal history of the Messinian Laga Basin in the context of Apennine foreland basin system*, in *Earth Sciences*, 1, 2009

CASTELLI, CAMASSI 2005: Castelli V., Camassi R.; *The shadow-zone of large italian earthquakes. Early journalistic sources and their perception of 17th-18th Centuries seismicity*; in *Journal of Earthquake Engineering*, Vol9, No. 3, 2005

CASTELLI 2003: Castelli V.; *Revisione delle conoscenze sui terremoti del 1558 (Valdambra), 1561 (Campania-Basilicata), 1639 (Amatriciano) e 1747 (Nocera Umbra-Gualdo Tadino)*; Rapporto Tecnico INGV; Ancona, 2003.

CAPPELLO 1829: Cappello A.; *Memorie storiche di Accumoli in Abruzzo, parte seconda e terza*; Giornale Arcadico Volume di Dicembre 1829; Stamperia del Giornale Arcadico presso Antonio Boulzaler, Roma, 1829.

CNR – GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DAI TERREMOTI, GDL 1.2.2 “MACROSISMICA” 1995: *Terremoto del 07.1627, Accumoli*; Archivio Macrosismico GNDT, 1995.

GALDERISI ET AL. 2017: Galderisi A., Galli P., Giaccio B., Messina P., Pittis A., Volatili T., Tondi E.; *Nuovi saggi paleosismici lungo la faglia di Campotosto (Aq)*; 36° Convegno Nazionale del GNGTS, Gruppo Nazionale Geofisica della Terra Solida; Roma, 2017.

GALLI, PERONACE, TERTULLIANI 2016: GALLI P., PERONACE E., TERTULLIANI; *Rapporto sugli effetti macrosismici del terremoto del 24 Agosto 2016 di Amatrice in scala MCS*. Roma, rapporto congiunto DPC, CNR-IGAG, INGV, 15 pp. DOI: 10.5281/zenodo.161323

GRUPPO DI LAVORO INGV SUL TERREMOTO DI AMATRICE (2016). *Primo rapporto di sintesi sul Terremoto di Amatrice Ml 6.0 del 24 Agosto 2016 (Italia Centrale)*, doi: 10.5281/zenodo.61121.

GRUPPO DI LAVORO INGV SUL TERREMOTO DI AMATRICE (2016). *Secondo rapporto di sintesi sul Terremoto di Amatrice Ml 6.0 del 24 Agosto 2016 (Italia Centrale)*, doi: 10.5281/zenodo.154400

GRUPPO DI LAVORO INGV SUL TERREMOTO DI VISSO (2016): *Rapporto di sintesi sul Terremoto di Visso Ml 5.9 del 26 ottobre 2016 (Italia Centrale)*, doi: 10.5281/zenodo.163818

GRUPPO DI LAVORO INGV SUL TERREMOTO IN CENTRO ITALIA (2016): *Rapporto di sintesi sul Terremoto in centro Italia Mw 6.5 del 30 ottobre 2016*, doi: 10.5281/zenodo.166019

GRUPPO DI LAVORO INGV SUL TERREMOTO IN CENTRO ITALIA: *Relazione sullo stato delle conoscenze sulla sequenza sismica in centro Italia 2016-2017 (aggiornamento al 2 febbraio 2017)*, doi: 10.5281/zenodo.267984

GUIDOMONI ET AL. 2007: Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Valensise G., *CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy from 461 B.C. to 2000 and in the Mediterranean area, from 760 B.C. to 1500. An Advanced Laboratory of Historical Seismology 2007* (<http://storing.ingv.it/cfti4med/>)

MILLI ET AL. 2009: Milli S., Moscatelli M., Marini M., Stanzione O.; *The Messinian turbidite deposits of the Laga basin (central Apennines, Italy)*; in proceedings of 27th IAS Meeting of Sedimentology, Alghero, September 20-23, 2009; pp.16-26

MILLI ET AL. 2007: Milli S., Moscatelli M., Stanzione O. & Falcini F.; *Sedimentology and physical stratigraphy of the Messinian turbidite deposits of the Laga Basin (central Apennines, Italy)*; in *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 126, 2007; pp.60-69

MILLI ET AL. 2004: Milli S., Moscatelli M., Stanzione O., Gennari G., Marini M.; *Sedimentology and physical stratigraphy of the pre-gypsum arenites deposits of the Laga formation*; in proceedings of 32 International Geological Congress; Firenze, 2004.

MONACHESI, CASTELLI 1992: Monachesi G., Castelli V.; *Sismicità dell'area aquilano-teramana dall'analisi "attraverso i cataloghi", i terremoti dell'ottobre 1639 (Area epicentrale: Amatrice)*; Osservatorio geofisico sperimentale di Macerata, 1992

TERTULLIANI, AZZARO 2017: Tertulliani A., Azzaro R.; *QUEST – Rilievo macrosismico in EMS98 per la sequenza sismica in Italia Centrale: aggiornamento dopo il 18 gennaio 2017*, Rapporto INGV. doi: 10.5281/zenodo.556929

TERTULLIANI, AZZARO 2016: Tertulliani A., Azzaro R.; *QUEST – Rilievo macrosismico per i terremoti nell'Italia centrale. Aggiornamento dopo le scosse del 26 e 30 ottobre 2016. Aggiornamento al 21 dicembre 2016*, Rapporto INGV. doi: 10.5281/zenodo.238778

TIBERII 1639: Tiberii C.; *Nuova e vera relatione del terribile, e spaventoso terremoto successo nella città della Matrice, e suo stato, con patimento ancora di Accumolo, e luoghi circonvicini, sotto li 7 del presente mese di ottobre 1639, con la morte compassionevole di molte persone, la perdita di bestiami d'ogni sorte, e con tutto il danno seguito fino al corrente giorno. Con ogni diligenza, e certezza descritta da Carlo Tiberij Romano, per memoria di un caso così miserando, e lagrimevole*; Roma, 1639

VIVENZIO 1783: Vivenzio G.; *Istoria e teoria de' tremuoti in generale ed in particolare di quelli della Calabria e di Messina del MDCCLXXXIII*; Stamperia reale di Napoli, 1783

CAPITOLO 4 – BUONE PRATICHE DELLA DIAGNOSTICA NEL CONTESTO DELL'EMERGENZA: SPERIMENTAZIONE NEL TERRITORIO AMATRICIANO

4.0 Introduzione

Nel capitolo secondo sono state definite le buone pratiche operative per l'applicazione degli studi diagnostici nel contesto dell'emergenza sismica. Si è partiti valutando le possibilità di applicazione nel rilievo del danno per poi considerare la messa in sicurezza e la gestione delle macerie. In particolare, nel paragrafo 2.1.3.1 è stato presentato l'Allegato Materico-Diagnostico (AMD) alla scheda AeDES per l'analisi dell'edilizia storica diffusa. Nel successivo paragrafo è stato esposto il metodo di compilazione dell'AMD. La versione finale dell'AMD è stata prodotta a seguito di una serie di ragionamenti, prove e sperimentazioni applicative¹⁸¹.

La progettazione dell'AMD e l'indagine diretta sugli edifici colpiti dal sisma sono state sviluppate inizialmente di pari passo per essere poi strutturate in parallelo, l'una come proposta di strumento operativo in grado di inserirsi in una fase della gestione dell'emergenza (il rilievo del danno), l'altra come laboratorio per la validazione e la correzione dello strumento proposto e come occasione di studio e approfondimento delle tradizioni costruttive locali.

La sperimentazione è stata effettuata nel territorio di Amatrice¹⁸² e, nei successivi paragrafi, viene proposto un quadro complessivo delle tradizioni costruttive locali, illustrando i risultati derivati dall'applicazione del modello d'indagine diagnostica speditiva mediante l'utilizzo dell'AMD. Dalla sperimentazione sono emerse le specificità relative alla composizione e alla lavorazione delle malte storiche¹⁸³, che risultano particolarmente incoerenti, anche a ragione di una loro rilevante componente terrosa. Alle caratteristiche prestazionali delle malte è spesso strettamente connessa la tenuta degli edifici nei confronti delle sollecitazioni sismiche¹⁸⁴. Si è pertanto intrapreso uno specifico approfondimento diagnostico per ottenere la caratterizzazione completa delle medesime malte, la cui conoscenza approfondita costituisce la premessa per la messa a punto di adeguati sistemi di

¹⁸¹ È buona norma che ogni nuovo strumento schedografico per la raccolta speditiva di dati sia validato sul campo.

¹⁸² Si rimanda al capitolo 3, in cui quale sono state illustrate le premesse per una migliore comprensione e contestualizzazione dei dati qui analizzati.

¹⁸³ Sulla definizione di malte storiche si rimanda a UNI Beni Culturali – 11305.

¹⁸⁴ GATTIA ET AL. 2019, DOGLIONI, MARCHETTI, MODENA 2017.

consolidamento utili alla realizzazione di restauri e ricostruzioni compatibili con le tecniche costruttive tradizionali del luogo.

4.1 Modello d'indagine diagnostica speditiva: sperimentazione dell'AMD nel territorio amatriciano

I sopralluoghi finalizzati a validare il modello di indagine diagnostica speditiva proposto sono stati condotti ad Amatrice e nelle frazioni Capricchia, Cascello, Castel Trione, Colloceta, Cornillo Nuovo, Moletano, Prato, Preta, Retrosi e Scai. La loro conduzione, nel 2018¹⁸⁵, è avvenuta dopo la messa in sicurezza degli edifici religiosi, delle torri e di altri edifici tutelati ma con buona parte dell'edificato storico già demolito (Figg.4.1, 4.2, 4.3, 4.4)¹⁸⁶ soprattutto ad Amatrice, centro maggiore e più densamente popolato dell'area colpita dal sisma. Nelle frazioni limitrofe, comunque, erano state effettuate all'epoca le sole opere di messa in sicurezza degli edifici tutelati, mentre diversi edifici del tessuto storico erano ancora in attesa della rimozione delle macerie e delle demolizioni ritenute necessarie.

Come s'è detto, anche in virtù della necessità di documentare urgentemente le caratteristiche del costruito storico è maturata l'idea di progettare uno strumento schedografico da utilizzare sin dalle primissime fasi di gestione dell'emergenza, ovvero nel rilievo dei danni. L'importanza della proposta risiede anche nel fatto che l'AMD è stato concepito come allegato della scheda AeDES, per gli edifici ordinari non tutelati per legge, in quanto l'esperienza sul campo ha fornito l'immediato riscontro della messa in sicurezza dei soli edifici tutelati e della contestuale demolizione della quasi totalità degli edifici ordinari. L'AMD nasce quindi come strumento di documentazione in somma urgenza di edifici storici ordinari. Tale documentazione, utile in fase di ricostruzione, viene in ogni caso prodotta con l'intento di sensibilizzare le amministrazioni locali a adottare scelte rivolte alla conservazione di quante più testimonianze possibili, pur dovendo conciliare tale esigenza con quelle relative alla sicurezza. D'altronde, molti degli edifici tutelati e presidiati da ulteriori danni, in attesa di effettuare i restauri e le necessarie ricostruzioni, presentavano caratteristiche costruttive non molto diverse dall'edilizia storica comune demolita.

¹⁸⁵ Il centro storico di Amatrice è rimasto chiuso al traffico e al transito dall'agosto del 2016 all'aprile 2018 e non è stato possibile sino a quel momento ottenere permessi per accedere a fini di ricerca. I sopralluoghi sono stati poi condotti da aprile a luglio 2018 in condizioni di sicurezza tramite specifici accordi con l'UCCR Lazio. A tal proposito si coglie l'occasione per ringraziare l'Arch. Alessandra Di Matteo, l'Arch. Cristina Collettini e il Dott. Alessandro Betori.

¹⁸⁶ Tutte le immagini fotografiche riportate nel presente capitolo sono state riprese dall'autrice della ricerca durante i sopralluoghi.

Le frazioni oggetto dei sopralluoghi sono state scelte in funzione della loro prossimità al centro di Amatrice e della connessione storica con esso. L'AMD è stato testato e compilato estensivamente su tutti gli edifici ordinari nelle zone accessibili delle frazioni oggetto dei sopralluoghi, in modo da poter disporre di un campione più esteso possibile di informazioni, ai fini dello studio delle caratteristiche del tessuto edilizio diffuso, e del più ampio numero possibile di schede compilate, ai fini della validazione del metodo.



Figura 4.1: Amatrice, Chiesa di Santa Maria della Torre, Aprile 2018



Figura 4.2: Amatrice, Chiesa di Santa Maria Assunta, Aprile 2018

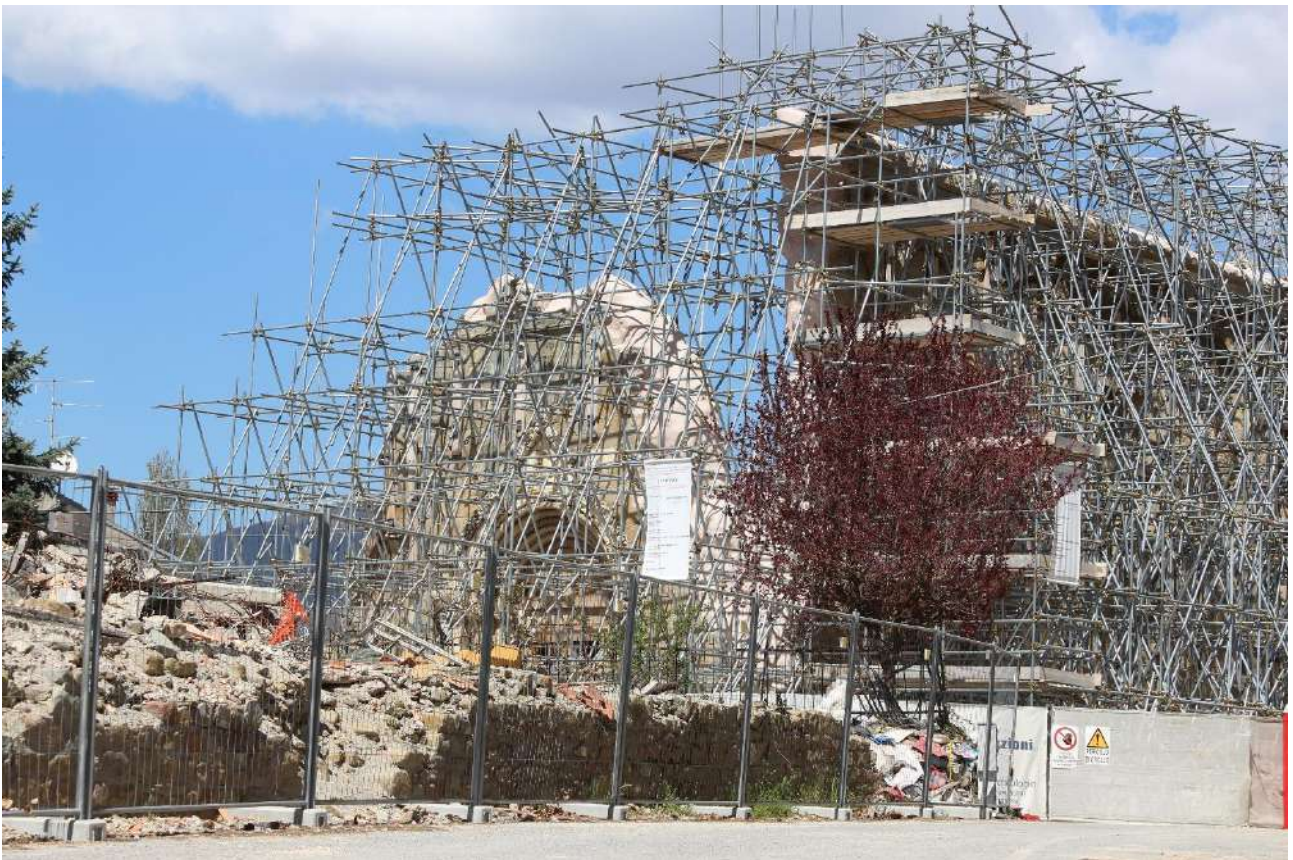


Figura 4.3: Amatrice, Chiesa di Sant'Agostino, Aprile 2018



Figura 4.4: Amatrice, resti della demolizione di abitazioni storiche gravemente danneggiate dal sisma, Aprile 2018

4.1.1 Cenni storici sui centri urbani di Amatrice e delle sue frazioni oggetto di sopralluogo

Le prime testimonianze storiche relative al territorio di Amatrice risalgono all'XI secolo: nel 1012 la presenza di un abitato denominato 'Matrice' viene attestata nel Regesto di Farfa e il medesimo toponimo appare nel 1037 nel diploma relativo alla conferma dei possedimenti del vescovo di Ascoli da parte dell'imperatore Corrado II; tuttavia, l'impianto urbano storicamente consolidato dovrebbe risalire alla fine del XIII secolo¹⁸⁷.

In quel periodo, l'area dell'alta Sabina e della valle del Velino ricadeva sotto il governo degli Angioini; questi ultimi adottarono una politica di sviluppo territoriale tramite la fondazione di un sistema strategico di villaggi fortificati a difesa dei confini del Regno di Sicilia. Con Amatrice sono più o meno contemporaneamente edificati i centri di Cittaducale, Antrodoco, Borgo Velino, Leonessa e Cittareale, centri tutti istituiti per Decreto Regio. La struttura urbana a scacchiera di Amatrice è simile a quella dei borghi citati e ne segnala pertanto un'analoga fondazione regia (Fig.4.5). Nel suo periodo di massima espansione Amatrice era completamente circondata da mura possenti e bastioni,

¹⁸⁷ VISCOGLIOSI 2016

come documenta l'affresco di Dionisio Cappelli del XV secolo nel Santuario dell'Icona Passatora (presso Ferrazza, frazione di Amatrice), che raffigura la città nelle mani della Madonna (Fig.4.6)¹⁸⁸.

Le frazioni di Castel Trione e Preta sono ugualmente documentate nell'XI secolo e hanno comunque condiviso le vicende storiche di Amatrice¹⁸⁹. Nel regesto di Farfa, 1067 si fa menzione della donazione delle Terre Sommatine all'Abbazia tra cui compaiono il *Castrum Trigionis* e dell'Abbazia di S. Lorenzo a Trione. Attualmente, a Castel Trione non si individuano resti di strutture fortificate ma un piccolo abitato si è sviluppato lungo l'asse che collega con Amatrice. L'abitato di Preta, alle pendici del Monte Gorzano, è invece sorto a seguito dell'abbandono dell'Abbazia di S. Lorenzo a Trione e dell'antico borgo annesso a seguito delle distruzioni dovute al terremoto del 1639. Il titolo di Abbazia di S. Lorenzo a Trione fu assegnato alla chiesa di S. Agostino di Amatrice, comparando nei documenti storici con la denominazione "Abbazia S. Lorenzo a Trione presso S. Agostino"¹⁹⁰. Anche Cornillo Nuovo appare nel documento di donazione all'Abbazia di Farfa con il nome di *Cornello*¹⁹¹. Il centro fu distrutto nel 1479, in quanto divenne luogo di scontro nelle guerre di successione tra Angioni e Aragonesi. La sua integrale ricostruzione venne indicata con l'appellativo 'Nuovo'. Capricchia compare nelle visite pastorali del 1573 del Vescovo Camaiani e del 1580 del Vescovo Aragona e dovrebbe essere stata edificata nel XVI secolo¹⁹², periodo al quale risalgono anche le più antiche testimonianze materiali dell'abitato di Retrosi, costituite da due architravi in arenaria scolpita con la data 1519 che sormontano i vani di due abitazioni. Nello stesso periodo a Prato esisteva perlomeno una piccola edicola mariana, ampliata e trasformata nella chiesa della Madonna delle Grazie nel 1613¹⁹³. L'insediamento storico più recente è probabilmente l'abitato di Moletano, la cui chiesa della Madonna di Loreto fu costruita nel 1670¹⁹⁴. Collocata è un centro annesso a Moletano, probabilmente sviluppatosi nel Settecento a seguito dei sismi del 1639 e 1672¹⁹⁵. Nel secolo XIX divenne un importante luogo per la lavorazione della pietra arenaria locale con un fiorire di botteghe di mastri scalpellini di cui si leggono incisioni su lastre inserite sulle facciate delle abitazioni. Poco lontano è il coevo centro di Cascello.

¹⁸⁸ GIAMMARIA 2017

¹⁸⁹ AQUILINI 2002

¹⁹⁰ MASSIMI 1982

¹⁹¹ DE MARTINIS 1993

¹⁹² MASSIMI 1982

¹⁹³ GIAMMARIA 2017

¹⁹⁴ MASSIMI 1982

¹⁹⁵ AQUILINI 2002



Figura 4.5: Immagine satellitare di Amatrice. La struttura urbana a scacchiera è ancora leggibile nonostante le gravi perdite nel tessuto urbano (Fonte Google Earth, consultazione 30/07/20)



Figura 4.6: Dionisio Cappelli, XV secolo, affresco nel Santuario dell'Icona Passatora a Ferrazza (Frazione di Amatrice) con la Madonna in trono e il Bambino sorreggente la città di Amatrice (AQUILINI 2002).

4.1.2 Organizzazione dei sopralluoghi nelle frazioni di Amatrice

L'organizzazione dei sopralluoghi nelle frazioni di Amatrice è stata di particolare importanza. Data la persistente emergenza sismica, la conoscenza preventiva della struttura urbana e delle condizioni pre e post-sisma di questi centri era fondamentale per la buona riuscita della raccolta dei dati nei ristretti tempi di permanenza concessi. Dalle riprese satellitari disponibili su *Google Earth* si sono così ricavate le mappe di ogni frazione. I crolli avvenuti sono stati mappati preliminarmente confrontando riprese satellitari del 2018 e del 2010 (Fig.4.7) e sono state raccolte sistematicamente, per quanto possibile, le viste dallo strumento *Street-View* di *Google Maps* risalenti al luglio 2011 (Fig.4.8). La documentazione così prodotta è servita in fase di sopralluogo ad accelerare i tempi di raccolta dei dati e a ridurre la permanenza nei centri¹⁹⁶.

Sulla base delle mappe prodotte, a ogni edificio esaminato è stato assegnato un codice identificativo utilizzando una lettera maiuscola. Alle singole lettere sono state associate, sulle apposite tabelle cartacee, i codici delle fotografie e delle eventuali campionature, tutte le annotazioni relative alle caratteristiche materiche e costruttive degli edifici, le eventuali datazioni rilevate da iscrizioni sui portali.

I dati così raccolti sono stati poi elaborati per ciascun edificio esaminato. Le immagini sono state archiviate in cartelle corrispondenti ai codici assegnati agli edifici e, contestualmente, è stato compilato l'AMD, organizzando le informazioni raccolte in funzione della strutturazione prevista (Fig. 4.9).

¹⁹⁶ Il materiale e l'attrezzatura per i sopralluoghi sono consistiti in: a) documentazione stampata e organizzata in piccoli dossier per ogni frazione; b) più mappe in forma cartacea per l'assegnazione di codici agli edifici esaminati; c) tabelle cartacee predisposte per l'annotazione dei dati del rilievo; d) fotocamera digitale; e) strumenti per il prelievo di campioni (martello, scalpello, bisturi, pennello, lente di ingrandimento, sacchetti porta-campioni, etichette, pennarelli e penne, materiali per la documentazione dei campionamenti); f) dispositivi di protezione individuale.

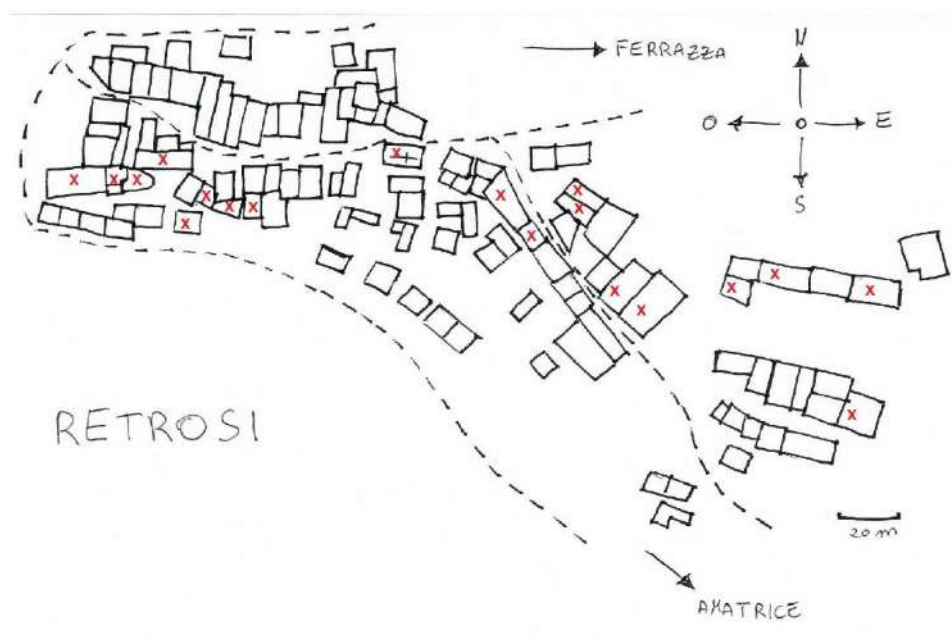
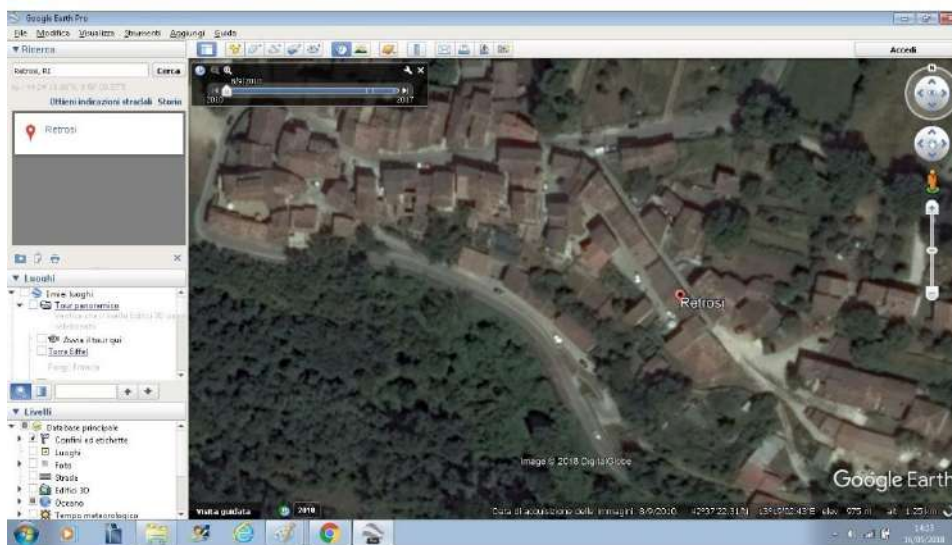
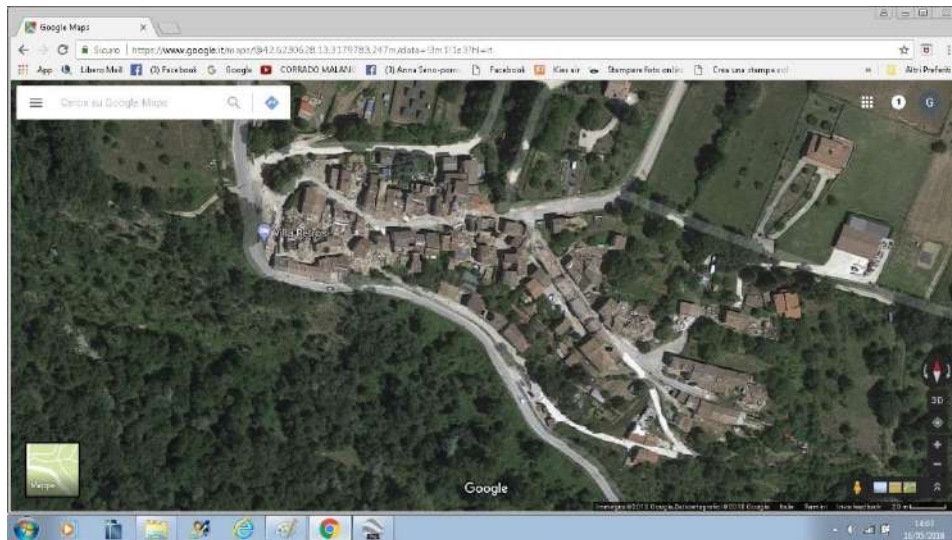


Figura 4.7: Processo di documentazione per confronto di riprese satellitari del 2018 e del 2010 e rappresentazione su mappa degli edifici crollati, demoliti o parzialmente crollati. Immagini satellitari (Fonte Google Earth, consultazione 15/03/2018).

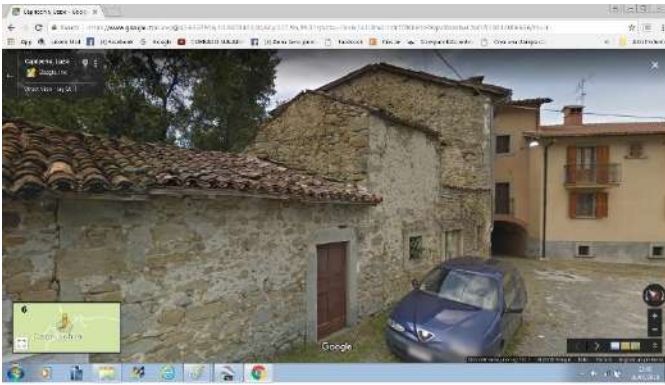


Figura 4.8: Capricchia, confronto tra vista Google Street-View del 2011 (data consultazione 16/05/2018) e ripresa diretta nel maggio 2018

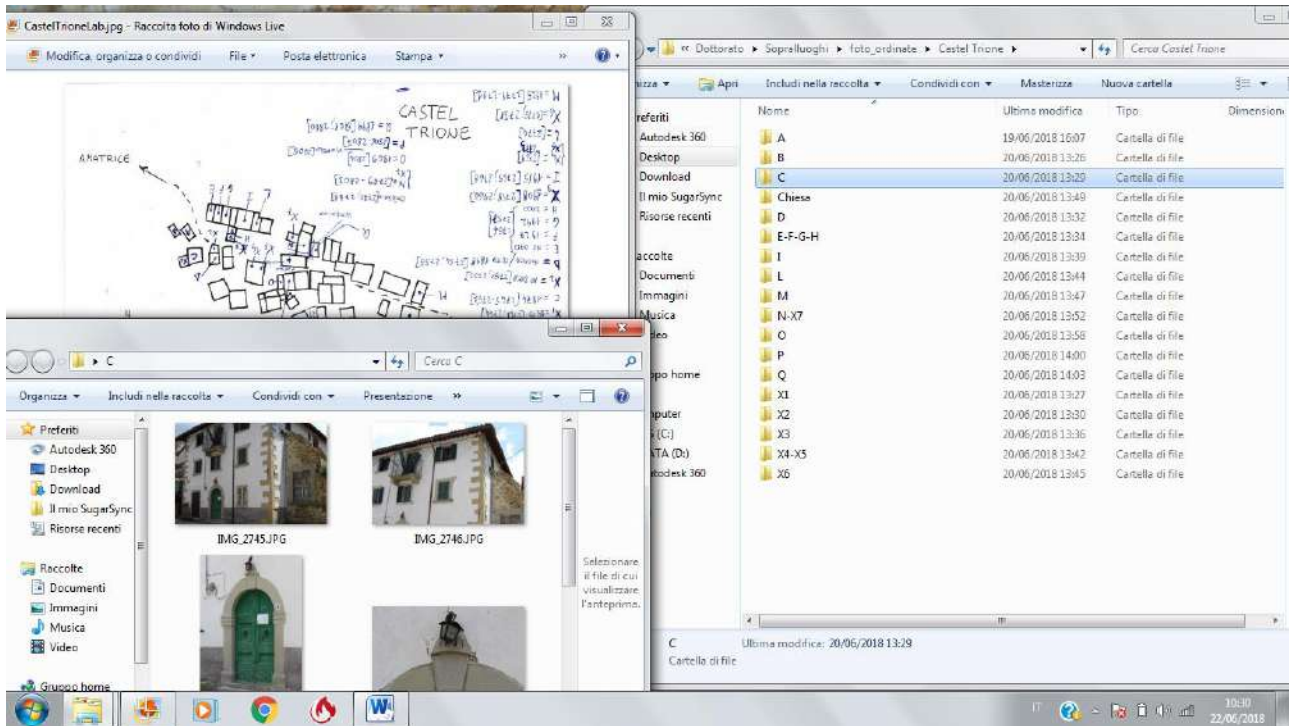


Figura 4.9: Immagine di sintesi del processo di elaborazione dei dati e archiviazione delle immagini fotografiche riprese durante i sopralluoghi.

4.1.3 Caratterizzazione a vista delle murature¹⁹⁷

La maggior parte delle murature analizzate ricade nella categoria “murature a tessitura irregolare e di cattiva qualità” dell’AMD. Ciò non significa che le murature risultino del tutto caotiche, anzi, si riscontra una certa attenzione per la disposizione degli elementi lapidei. Tuttavia, nella quasi totalità degli edifici con muratura a vista, gli elementi lapidei si presentano poco o affatto lavorati, sfruttando al massimo le condizioni naturali dei materiali. Infatti, i piani di frattura dell’arenaria in banchi, affiorante in tutto il territorio, indicano che questo tipo di pietra si stacca naturalmente in blocchi di forma piuttosto regolare (Figg.4.10, 4.11). L’utilizzo del litotipo locale permette quindi di costruire murature che rispettino una certa orizzontalità dei filari.

Un altro tipo di affioramento, piuttosto diffuso, è il cosiddetto *flysch*, un deposito di arenaria marnosa che si stacca con molta facilità dal substrato in forma di lastre molto regolari con piani di rottura paralleli e ortogonali tra loro grazie alla loro tipica struttura laminare (Fig. 4.12). Questo litotipo è spesso impiegato nella muratura al fine di regolarizzare l’apparecchiatura muraria creando dei piani di orizzontamento. Il territorio è inoltre caratterizzato da una complessa rete di risorse idriche, perlopiù a regime torrentizio, la cui azione trasforma il litotipo arenaceo in formazione ciottolosa (Fig.4.13) che si ritrova nelle murature, specie nei paramenti più in alto degli edifici e all’interno del nucleo. Le malte di allettamento, nella quasi totalità, sono in terra argillosa, senza particolari aggiunte né di calce né di fibre. Gli aggregati stessi sono probabilmente già presenti nel suolo e non volutamente aggiunti negli impasti¹⁹⁸. La maggioranza delle murature analizzate viene quindi descritta come segue nell’AMD (Figg.4.14, 4.15, 4.16).

¹⁹⁷ L’attività di caratterizzazione delle murature è stata condotta anche sulla scorta di precedenti studi sullo stesso tema in Sabina (DE MEO 2006)

¹⁹⁸ Queste prime caratterizzazioni a vista delle malte hanno trovato conferma nelle indagini di approfondimento diagnostico esposte nel paragrafo 4.2.

TABELLA 1_MURATURA: TESSITURA IRREGOLARE E DI CATTIVA QUALITÀ <input type="checkbox"/>				
Elementi lapidei	① Bozze non lavorate	② Ciottoli	Laterizi	④ Altri Elementi
Malte				
⑤ Tradizionali	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
NOTE:				
① Bozze di arenaria locale di forma abbastanza regolare				
② Ciottoli di grandi dimensioni di litotipo arenaceo				
④ Lastre di Flysch arenaceo				
⑤ Malte terrigene in argilla e componenti sabbiose				

Le malte di allettamento utilizzate presentano a vista un'evidente composizione terrigena mentre non si osservano tracce evidenti di calce, mentre i residui di malta di finitura appaiono composizionalmente molto diversi. Allettamenti e rivestimenti sono stati campionati sistematicamente laddove possibile. I risultati delle indagini diagnostiche sulle malte storiche sono specificamente approfonditi nel paragrafo 4.2.

Le sezioni murarie sono state messe in luce dai numerosi crolli. Le murature sono quasi sempre costituite da due paramenti simili e nucleo riempito con scaglie di pietra, ciottoli e malta a componente terrigena. In tutti i casi analizzati si registra la presenza di diatoni di collegamento tra i paramenti (Fig.4.17, 4.18). L'impiego di laterizi nelle murature degli edifici storici risulta piuttosto limitato e probabilmente collegato a interventi risalenti a non prima del XX secolo. Li si trova infatti presenti come fasi di ricucitura di lacune murarie (Fig.4.19) o all'interno di murature realizzate in pietra con murarie precedentemente crollate o fortemente degradate (Fig.4.20). Quando presenti i laterizi la TABELLA 1 dell'AMD viene così compilata:

TABELLA 1_MURATURA: TESSITURA IRREGOLARE E DI CATTIVA QUALITÀ <input type="checkbox"/>				
Elementi lapidei	① Bozze non lavorate	② Ciottoli	③ Laterizi	④ Altri Elementi
Malte				
⑤ Tradizionali	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
NOTE:				
① Bozze di arenaria locale di forma abbastanza regolare				
② Ciottoli di grandi dimensioni di litotipo arenaceo				
③ Ricorsi in filari alternati al litotipo arenaceo				
④ Lastre di Flysch arenaceo				
⑤ Malte apparentemente terrigene in argilla e componenti sabbiose				

All'interno della tessitura muraria degli edifici storici si ritrovano spesso elementi lignei probabilmente interpretabili come 'radiciamenti', ovvero presidi di rinforzo a scopo antisismico inseriti per migliorare il comportamento delle murature sottoposte a sollecitazioni orizzontali e per connettere tra loro varie porzioni di muratura¹⁹⁹ (Fig.4.21).

Circa un secolo fa sono state edificate, per volontà del padre Don Giovanni Minozzi, due fabbriche per accogliere gli orfani di guerra: un orfanatrofio ad Amatrice e un Istituto scolastico professionale a Preta. Il sisma ha evidenziato con i crolli l'impiego di una tecnica costruttiva mista che coniuga il sistema a telaio in cemento armato con il tradizionale sistema costruttivo in pietra, alternato a filari in laterizio, nelle tamponature (Figg.4.22, 4.23).

Le murature che ricadono nella categoria "a tessitura regolare e di buona qualità" dell'AMD sono piuttosto rare e costituiscono nella quasi totalità dei casi le facciate delle chiese, in un solo caso a Preta la parte bassa della facciata di un edificio (Fig. 4.24, 4.25). Le facciate sono realizzate in grandi blocchi perfettamente squadrati allettati con sottilissimi ricorsi di malta di calce e sabbia.

¹⁹⁹ DONATELLI 2010

TABELLA 2_MURATURA: TESSITURA REGOLARE E DI BUONA QUALITÀ <input type="checkbox"/>				
Elementi lapidei	①	②	③	④
Malte	Pietra squadrata	Laterizi	Blocchetti	Mista
⑤ Tradizionali	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Spessore dei giunti S	<input type="checkbox"/> $S < 1 \text{ cm}$	<input type="checkbox"/> $1 \text{ cm} < S < 3 \text{ cm}$	<input type="checkbox"/> $S > 3 \text{ cm}$	
NOTE:				
① Grandi blocchi di pietra arenaria locale				
⑤ Malta tradizionale di calce e sabbia				

I crolli di molte chiese hanno però messo in evidenza che le facciate sono quasi sempre costituite in blocchi di pietra squadrata solo nei paramenti esterni, mentre quelli interni ripropongono la tecnica costruttiva locale più diffusa (Fig. 4.26), come spesso accade anche nelle murature laterali e absidali (Fig. 4.27, 4.28). Diversi edifici ecclesiastici delle frazioni di Amatrice sono poi integralmente realizzati con murature analoghe a quelle dell'edilizia residenziale, a parte che per le malte di allettamento, in cui talvolta si osserva la presenza di calce miscelata a componenti argillose (Fig. 4.29).



Figura 4.10: Stratificazioni di arenaria in banchi, affioramento presso Preta

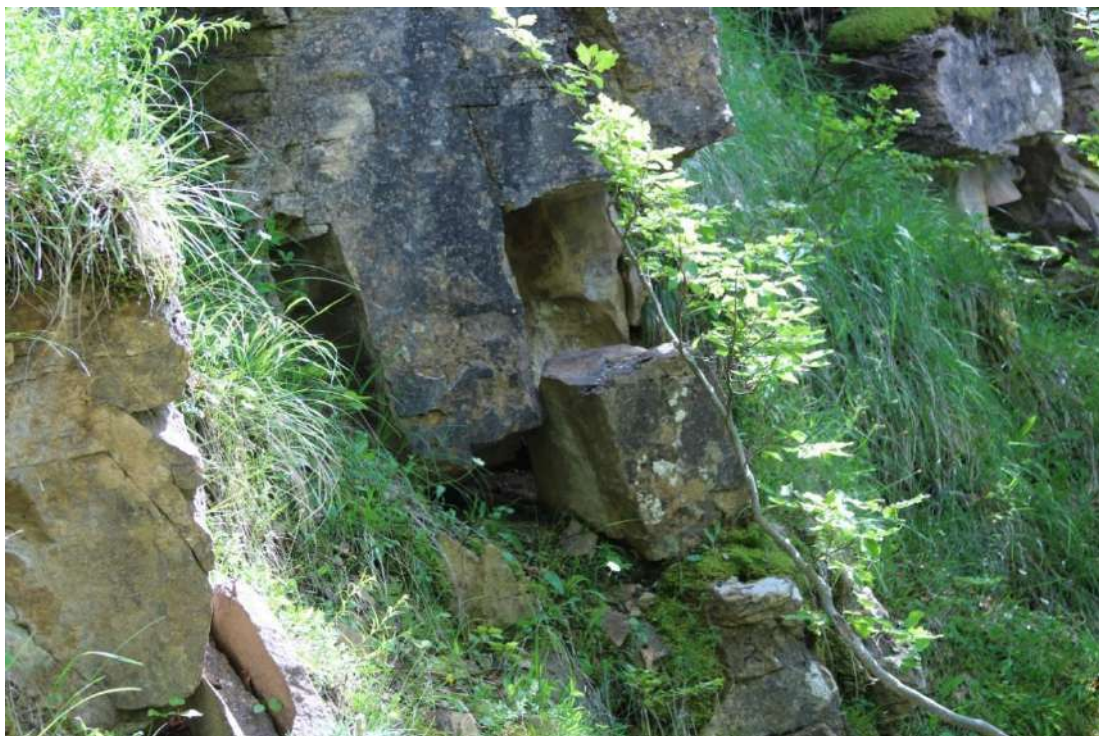


Figura 4.11: Affioramento di arenaria in banchi alle pendici del Monte Gorzano. Distacco di materiale lungo i naturali piani di frattura



Figura 4.12: Stratificazioni di Flysch arenaceo, affioramento presso Castel Trione



Figura 4.13: Deposito di arenaria in ciottoli presso la Cascata dell'Ortanza



Figura 4.14: Cornillo Nuovo, edificio A, dettaglio muratura



Figura 4.15: Castel Trione, edificio I, dettaglio muratura



Figura 4.16: Retrosi, edificio B, dettaglio muratura



Figura 4.17: Retrosi, edificio F, dettaglio sezione muraria



Figura 4.18: Castel Trione, edificio X3, dettaglio sezione muraria



Figura 4.19: Cascello, edificio A, dettaglio muratura con lacune riempite in laterizio



Figura 4.20: Cornillo Nuovo, edificio A, con muratura con ricorsi in laterizio

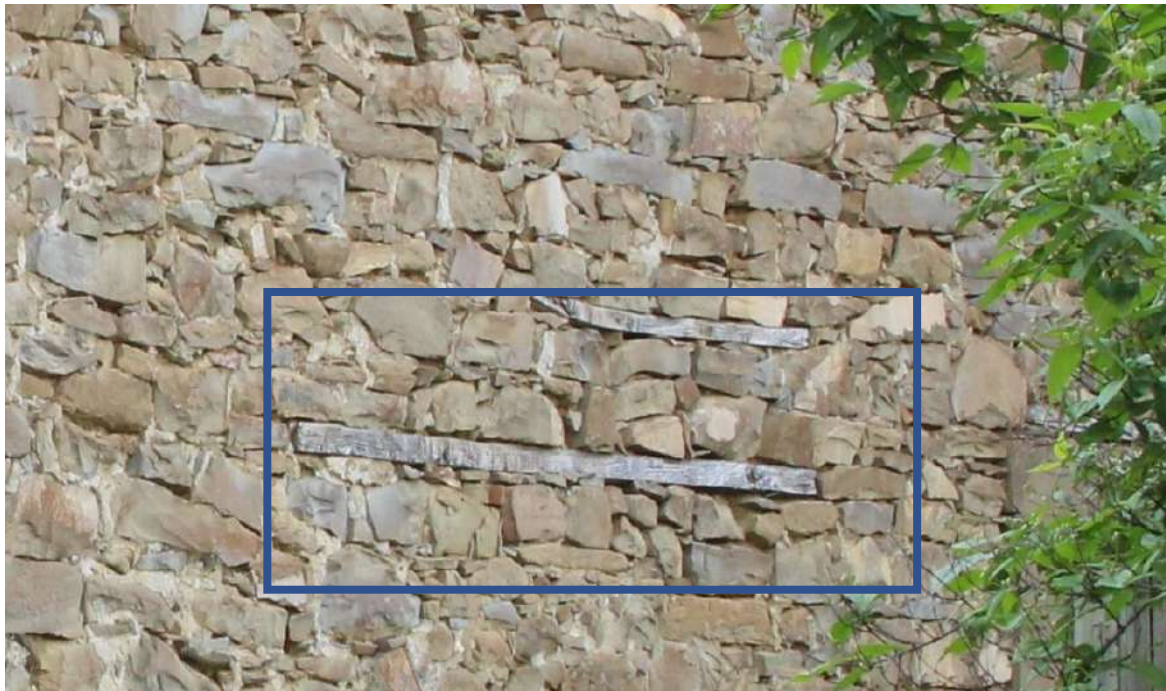


Figura 4.21: Cornillo Nuovo, edificio T, dettaglio radicamenti lignei in muratura



Figura 4.22: Amatrice, orfanotrofio Don Giovanni Minozzi, dettaglio tecnica mista muratura e c.a.



Figura 4.23: Preta, istituto scolastico professionale Don Giovanni Minozzi, dettaglio tecnica mista muratura e c.a.



Figura 4.24: Capricchia, facciata Chiesa dell'Annunziata



Figura 4.25: Preta, facciata Casa del Padre Don Giovanni Minozzi, piano terra in muratura in pietra squadrata



Figura 4.26: Scai, Chiesa di San Sebastiano, facciata crollata, si noti come il paramento interno ed esterno siano il primo in muratura in bozze, il secondo in pietra squadrata



Figura 4.27: Cornillo Nuovo, Chiesa di S. Antonio Abate, dettaglio muratura parete laterale



Figura 4.28: Ferrazza, Santuario dell'Icona Passatora, dettaglio della muratura della parete absidale



Figura 4.29: Retrosi, resti della Chiesa di San Clemente

4.1.4 Analisi a vista delle malte di finitura superficiale e degli intonaci storici

La maggior parte degli edifici storici che non mostra muratura a vista è rivestita da intonaci recenti. In pochi casi sono è stata riscontrata e documentata la presenza di intonaci storici databili al secondo decennio del XX secolo, quando iniziano a diffondersi intonaci a base di calce e leganti cementizi con connotazioni decorative (Figg.4.30 e 4.31).

TABELLA 3_MURATURA: NON A VISTA <input type="checkbox"/>			
Tipologia intonaco Spessore S	① Tradizionale		Non tradizionale
	Un livello	② Più livelli	
S < 3 cm	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 cm < S < 5 cm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
S > 5 cm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Spessore non rilevabile	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
NOTE:			
① Intonaco storico realizzato mediante la stratificazione di rinzaffo, arriccio, intonachino e tinta, con legante a base di calce e cemento (malta bastarda) e aggregato sabbioso di granulometria decrescente dal rinzaffo all'intonachino.			
② Spessore massimo 2,5 cm.			

Rimangono perlopiù casi isolati di questi rivestimenti e si presume che la maggior parte degli edifici storici fosse sottoposta a opere manutentive di tipo tradizionale, in epoche più recenti soppiantate da intonacature prive di qualsiasi connotazione artistica. Su molti degli edifici con muratura a vista o parzialmente a vista sono stati riscontrati resti, talvolta anche consistenti, di una finitura superficiale ricorrente in tutte le frazioni (Fig.4.32).

Le malte di finitura tradizionali sono a base di calce e sabbia, talvolta con argilla in miscela, con importanti aggiunte di fibre vegetali²⁰⁰. Sono sempre presenti numerosi calcinelli, indice di scarsa qualità delle materie prime o di lavorazioni non particolarmente accurate. Tuttavia, la disposizione di calce negli impasti e gli accorgimenti tecnici quali l'aggiunta di materiali fibrosi fanno presumere che gli strati di finitura superficiale fossero trattati con maggiore attenzione allo scopo di proteggere la muratura costruita con malte di materiale argilloso e, pertanto, particolarmente vulnerabili se non

²⁰⁰ Anche questo tipo di malte è stato oggetto di approfondimento diagnostico di laboratorio, i cui risultati sono esposti nel paragrafo 4.2.

protette. Va sottolineato che questa finitura è oggi presente su pochi edifici, in quanto progressivamente sostituita da nuovi intonaci, ma in ogni caso è altamente probabile che essa costituisca uno strato soggetto a manutenzione continua, per la sua intrinseca fragilità e soprattutto per il compito di protezione ad essa demandata.

TABELLA 3_MURATURA: NON A VISTA <input type="checkbox"/>			
Tipologia intonaco	①		Non tradizionale
	Tradizionale		
Spessore S	Un livello	② Più livelli	
S < 3 cm	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 cm < S < 5 cm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
S > 5 cm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Spessore non rilevabile	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

NOTE:

① Strato di finitura superficiale a base di calce e sabbia, talvolta con argilla in miscela, con importanti aggiunte di fibre vegetali

② Spessore massimo 1,5 cm.



Figura 4.30: Preta, edificio B, dettaglio dell'elaborata lavorazione dell'intonaco e della presenza di numerose decorazioni realizzate con malte cementizie decorative



Figura 4.31: Cornillo Nuovo, edificio AI con intonaco storico decorativo



Figura 4.32: Capricchia, edificio I, dettaglio della finitura superficiale di tipo tradizionale diffusa nel territorio

4.1.5 Strutture lignee

Per motivi di sicurezza non è stato possibile ottenere il permesso di accedere agli edifici indagati, pertanto non è stato eseguito uno studio sistematico delle strutture lignee di solai e coperture. Si è potuto comunque osservare dall'esterno il legno disposto generalmente in copertura, anche se non mancano le sostituzioni con strutture recenti. La maggior parte delle coperture leggere era stata già rifatta in cemento armato (Figg.4.33, 4.34).



Figura 4.33: Cornillo Nuovo, edificio E, dettaglio di una copertura lignea tradizionale



Figura 4.34: Castel Trione, edificio Q, dettaglio della copertura lignea di recente sostituzione

4.1.6 *Elementi notevoli e caratteristici dell'architettura locale*

Nella tabella 5 dell'AMD si riportano gli elementi notevoli che caratterizzano l'architettura locale: cantonali; portali; cornici; apparati decorativi. Sono poi presenti ulteriori elementi occasionali.

Nel corso dei sopralluoghi nelle frazioni di Amatrice sono stati raccolti dati sugli elementi ricorrenti, di grande utilità in fase di ricostruzione.

Si propone qui di seguito la descrizione sintetica di queste componenti edilizi.

Cantonali

Nonostante la semplicità costruttiva del tessuto edilizio diffuso nelle frazioni indagate, quasi tutti gli edifici isolati presentano cantonali in grandi blocchi di pietra arenaria squadrata, fattore che rivela una certa attenzione per l'ammorsatura delle pareti ortogonali (Figg. 4.35, 4.36).

Portali

I portali più diffusi presentano una conformazione ad arco a tutto sesto e sono realizzati in pietra arenaria locale. Spesso il concio in chiave è scolpito con uno stemma o una decorazione e riporta l'anno di costruzione. Le datazioni registrate vanno dalla seconda metà del XVIII secolo sino alla prima metà del Novecento (Fig.4.37).

Cornici

Le cornici delle finestre sono quasi sempre lavorate levigando la pietra senza operare alcuna decorazione (Fig.4.38). Non è stata riscontrata una ricorrente presenza di cornici marcapiano o cornicioni decorati.

Balconi in legno

Un elemento della tradizione architettonica locale, sebbene ad oggi perlopiù testimoniati da sostituzioni più tarde, è il balcone in legno. Sovente sono stati riscontrati i resti di antichi balconi in legno non più ricostruiti che dimostrano la longevità della tradizione (Figg 4.39, 4.40).

Decorazioni in copertura

Un'altra caratteristica ricorrente dell'architettura storica locale è riscontrabile nell'uso di piastrelle in cotto nelle coperture. Molto diffusa è la loro decorazione bicroma (bianco e cotto) con motivi a losanga o a triangolo, della parte in aggetto della copertura visibile dal basso, sulla quale è spesso leggibile anche la datazione della stessa. La tradizione continua ad essere rispettata in numerose decorazioni simili e recenti (Figg. 4.41, 4.42).

Altre decorazioni

Probabilmente la tradizione del balcone ligneo è stata via via soppiantata nel XX secolo dall'impiego di balconi in cemento armato, con parapetto in ferro battuto decorativo, a volte anche ripreso stilisticamente con l'inserimento di grate nei portali e nelle finestre (Figg. 4.43, 4.44).

Anche nei portoni lignei originari, di cui rimangono pochi esemplari, si riscontrano motivi decorativi ricorrenti (Figg. 4.45).

Un caso unico, ma degno di nota, è quello dell'uso del laterizio a scopo decorativo sulla facciata del Palazzetto Ruggeri a Moletano. Il palazzetto, datato 1755 da un'iscrizione sul portale, presenta articolate decorazioni interamente realizzate in laterizio (Figg. 4.46, 4.47, 4.48). Un uso più consueto del laterizio, privo di intenti decorativi, ma in ogni caso caratterizzante, è riscontrabile nella realizzazione di piattanbande al di sopra dei portali con apertura a sesto ribassato, meno diffusi di quelli con apertura a tutto sesto (Fig.4.49).



Figura 4.35: Castel Trione, edificio C, dettaglio dei cantonali in blocchi di pietra squadrata a vista.



Figura 4.36: Cornillo Nuovo, edificio E, anche negli edifici più semplici sono presenti angolate in pietra squadrata



Figura 4.37: Portali ad arco caratteristici del territorio, dal tipo più semplice (1) a quello più ricco (6). (1) Colloceta, edificio F; (2) Moletano, edificio I; (3) Preta, edificio E; (4) Cascello, edificio B; (5) Cornillo Nuovo, edificio A; (6) Cornillo Nuovo, edificio AF



Figura 4.38: Cascello, edificio A, facciata con cornici delle finestre semplici in pietra arenaria



Figura 4.39: Capricchia, edificio V, facciata con balcone tradizionale in legno



Figura 4.40: Collocreta, edificio H, facciata con balcone tradizionale in legno



Figura 4.41: Castel Trione, edificio D. Particolare della decorazione bicroma a losanghe in copertura, datata 1898



Figura 4.42: Capricchia, edificio N. Particolare della decorazione bicroma in copertura, datata 2002



Figura 4.43: Moletano, edificio V. Facciata con elementi decorativi in ferro battuto



Figura 4.44: Moletano, edificio V. Dettaglio del decorativo in ferro battuto inserito nel portale



Figura 4.45: Cornillo Nuovo, edifici AH (a sinistra) e AI (a destra), dettaglio della decorazione dei portoni in legno



Figura 4.46: Moletano, Palazzetto Ruggeri



Figura 4.47: Moletano, Palazzetto Ruggeri, dettaglio decorazioni in laterizio



Figura 4.48: Moletano Palazzetto Ruggeri. A sinistra: portale in pietra arenaria scolpita incorniciato da decorazione realizzata in laterizio. Sopra: dettaglio dell'arco in pietra del portale ricavato da un unico blocco monolitico di arenaria



Figura 4.49: Cornillo Nuovo, edificio T. Dettaglio della piattabanda realizzata in laterizi

Si riportano a seguire come esemplificazione tre schedature effettuate per la validazione dell'Allegato Materico Diagnostico. Sono stati prelevati alcuni campioni di materiale in tre diversi edifici per effettuare approfondimenti diagnostici relativi alla caratterizzazione delle malte utilizzate nell'allettamento e nella finitura superficiale.

Per motivi legati alla normativa per la tutela della privacy, non è stata concessa la consultazione delle schede AeDES degli edifici analizzati. La scheda AeDES dedicata al riscontro dei danni riportati dalle fabbriche è stata pertanto nuovamente compilata nel corso dei sopralluoghi²⁰¹.

I tre edifici studiati sono:

- Edificio E a Cornillo Nuovo
- Edificio I a Capricchia
- Edificio B a Preta

²⁰¹ I sopralluoghi sono stati effettuati dall'aprile al luglio del 2018 e sono stati accompagnati dalla documentazione fotografica che qui si presenta a corredo degli allegati.

**SCHEDA DI 1° LIVELLO DI RILEVAMENTO DANNO, PRONTO INTERVENTO E
AGIBILITÀ PER EDIFICI ORDINARI NELL'EMERGENZA POST-SISMICA**

ALLEGATO DI APPROFONDIMENTO MATERICO-DIAGNOSTICO

ID SCHEDA: Edificio E – Cornillo Nuovo (Amatrice)

DATA aprile/luglio 2018

SEZIONE 1_CONDIZIONI DI BASE: DATI SCHEDA AeDES

Età Edificio	Costruzione:	<input checked="" type="checkbox"/> < 1919	Ristrutturazione:	<input type="checkbox"/> 19 ÷ 45
		<input type="checkbox"/> 19 ÷ 45		<input type="checkbox"/> 46 ÷ 61
				<input type="checkbox"/> 62 ÷ 71
				<input type="checkbox"/> 72 ÷ 81
				<input type="checkbox"/> 82 ÷ 86
				<input type="checkbox"/> 87 ÷ 91
				<input type="checkbox"/> 92 ÷ 96
				<input type="checkbox"/> 97 ÷ 01
				<input type="checkbox"/> 02 ÷ 08
				<input type="checkbox"/> 09 ÷ 11
			<input type="checkbox"/> > 2011	

DANNI A ELEMENTI STRUTTURALI	<input checked="" type="checkbox"/> Medio Grave	<input type="checkbox"/> Leggero	<input type="checkbox"/> Nullo
-------------------------------------	---	----------------------------------	--------------------------------

ESITO DI AGIBILITA	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> D	<input checked="" type="checkbox"/> E	<input type="checkbox"/> F
-------------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	---------------------------------------	----------------------------

SEZIONE 2 APPROFONDIMENTO MATERICO
TABELLA 1_MURATURA: TESSITURA IRREGOLARE E DI CATTIVA QUALITÀ

Elementi lapidei	① Bozze non lavorate	② Ciottoli	③ Laterizi	④ Altri Elementi
Malte				
⑤ Tradizionali <input type="checkbox"/> In buono stato di conservazione <input checked="" type="checkbox"/> In cattivo stato di conservazione	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
⑥ Stucature recenti <input type="checkbox"/> In buono stato di conservazione <input checked="" type="checkbox"/> In cattivo stato di conservazione	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Degrado	Erosione dei giunti	⑦	Mancanza di elementi lapidei	
Estensione E		Degrado degli elementi lapidei		
E < 10%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10% < E < 25%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
25% < E < 50%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
50% < E < 75%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
E > 75%	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
NOTE:				
① Bozze non lavorate di pietra arenaria locale.				
② Ciottoli di pietra arenaria locale utilizzati come riempimento tra le bozze più irregolari.				
③ Laterizi in frammenti e frammenti di altro materiale ceramico inseriti come riempimento tra le bozze più irregolari				
④ Frammenti di Flysch arenaceo in lastre utilizzati per regolarizzare l'orizzontalità dei filari in muratura				
⑤ Malte di allettamento terrigene.				
⑥ Stucature in malta cementizia eseguite nei giunti più erosi.				
⑦				

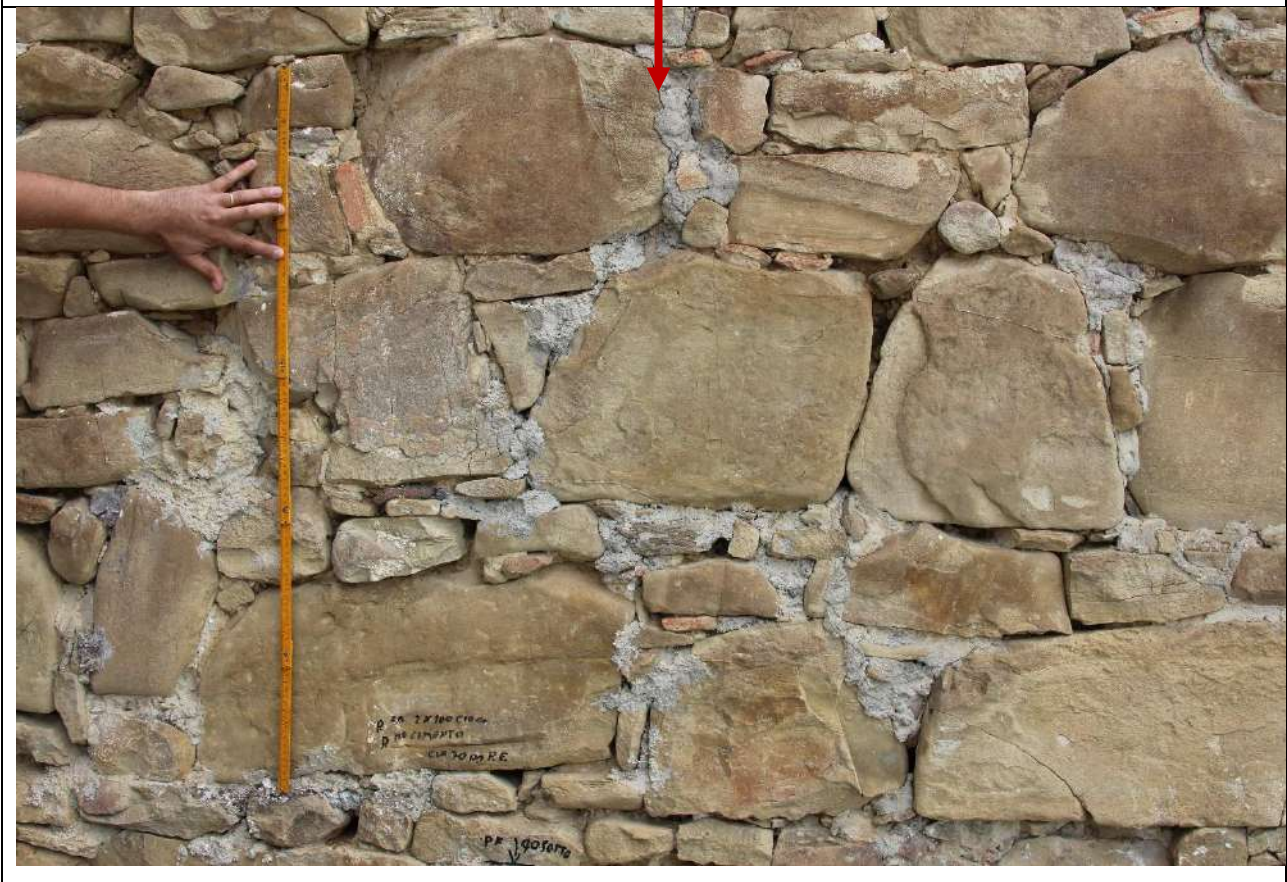


TABELLA 2_MURATURA: TESSITURA REGOLARE E DI BUONA QUALITÀ <input type="checkbox"/>				
Elementi lapidei	① Pietra squadrata	② Laterizi	③ Blocchetti	④ Mista
Malte				
⑤ Tradizionali <input type="checkbox"/> In buono stato di conservazione <input type="checkbox"/> In cattivo stato di conservazione	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
⑥ Stucature recenti <input type="checkbox"/> In buono stato di conservazione <input type="checkbox"/> In cattivo stato di conservazione	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Spessore dei giunti S	<input type="checkbox"/> $S < 1 \text{ cm}$	<input type="checkbox"/> $1 \text{ cm} < S < 3 \text{ cm}$	<input type="checkbox"/> $S > 3 \text{ cm}$	
Degrado	Erosione dei giunti	⑦ Degrado degli elementi lapidei	Mancanza di elementi lapidei	
Estensione E				
$E < 10\%$	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$10\% < E < 25\%$	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$25\% < E < 50\%$	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$50\% < E < 75\%$	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$E > 75\%$	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
NOTE:				
①				
②				
③				
④				
⑤				
⑥				
⑦				

TABELLA 3_MURATURA: NON A VISTA □			
Tipologia intonaco Spessore S	① Tradizionale		Non tradizionale
	Un livello	② Più livelli	
S < 3 cm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 cm < S < 5 cm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
S > 5 cm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Spessore non rilevabile	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Degrado Estensione E	③ Distacco		Fessurazione / Lesione
E < 10%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10% < E < 75%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
E > 75%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
NOTE:			
①			
②			
③			

TABELLA 4_STRUTTURE IN LEGNO □			
Degrado Struttura	① Elementi degradati		Elementi mancanti
	Orditura Principale	<input type="checkbox"/>	
Orditura Secondaria	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Estensione del degrado	<input checked="" type="checkbox"/> 10-50%	<input type="checkbox"/> 50-75%	<input type="checkbox"/> >75%
NOTE:			
① Attacchi biodeteriogeni, forse funghi.			



TABELLA 5 ELEMENTI NOTEVOLI □

□Cantonalì	In blocchi di pietra arenaria locale
□Cornici	Cornici finestre: semplici in arenaria locale (in parte crollate).
□Portali	Portale molto semplice in arenaria locale. Apertura a sesto ribassato.
□Decorativi/Altro	Piattabande in laterizio sulle aperture del portale e delle finestre.



SEZIONE 3_PRESCRIZIONI PER LA DIAGNOSTICA

Componente Strutturale	Danno	Assente		Leggero			Medio Grave		
		Estensione del degrado		Estensione del degrado			Estensione del degrado		
		< 75%	>75%	10-50%	50-75%	>75%	10-50%	50-75%	>75%
Murature	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Strutture in legno	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Componente non strutturale	Danno	Assente				Presente (Lesioni)			
		Estensione del degrado				Estensione del degrado			
		< 75%		>75%		< 75%		>75%	
Intonaci	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

<input type="checkbox"/>	0		Punteggio	ESITO
<input type="checkbox"/>	1		0-3	<input type="checkbox"/> Progetto diagnostico conoscitivo
<input type="checkbox"/>	2		4-5	<input checked="" type="checkbox"/> Verifica strutturale / progetto diagnostico conoscitivo
<input type="checkbox"/>	3		6-9	<input type="checkbox"/> Verifica strutturale

Prescritte demolizioni o rimozioni di materiale "provvedimenti di pronto intervento scheda AeDES "	<input checked="" type="checkbox"/>	Prelievo di materiale per indagini diagnostiche conoscitive	<input checked="" type="checkbox"/>
MOTIVAZIONI DEL PRELIEVO: Caratterizzazione della malta di allettamento apparentemente terrigena.			

**SCHEDA DI 1° LIVELLO DI RILEVAMENTO DANNO, PRONTO INTERVENTO E
AGIBILITÀ PER EDIFICI ORDINARI NELL'EMERGENZA POST-SISMICA**

ALLEGATO DI APPROFONDIMENTO MATERICO-DIAGNOSTICO

ID SCHEDA: Edificio I – Capricchia (Amatrice)

DATA aprile/luglio 2018

SEZIONE 1_CONDIZIONI DI BASE: DATI SCHEDA AeDES

Età Edificio	Costruzione:	<input checked="" type="checkbox"/> < 1919	Ristrutturazione:	<input type="checkbox"/> 19 ÷ 45
		<input type="checkbox"/> 19 ÷ 45		<input type="checkbox"/> 46 ÷ 61
				<input type="checkbox"/> 62 ÷ 71
				<input type="checkbox"/> 72 ÷ 81
				<input type="checkbox"/> 82 ÷ 86
				<input type="checkbox"/> 87 ÷ 91
				<input type="checkbox"/> 92 ÷ 96
				<input type="checkbox"/> 97 ÷ 01
				<input type="checkbox"/> 02 ÷ 08
				<input type="checkbox"/> 09 ÷ 11
			<input type="checkbox"/> > 2011	

DANNI A ELEMENTI STRUTTURALI	<input type="checkbox"/> Medio Grave	<input checked="" type="checkbox"/> Leggero	<input type="checkbox"/> Nullo
-------------------------------------	--------------------------------------	---	--------------------------------

ESITO DI AGIBILITA	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> D	<input checked="" type="checkbox"/> E	<input type="checkbox"/> F
-------------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	---------------------------------------	----------------------------

SEZIONE 2 APPROFONDIMENTO MATERICO
TABELLA 1_MURATURA: TESSITURA IRREGOLARE E DI CATTIVA QUALITÀ

Elementi lapidei	① Bozze non lavorate	② Ciottoli	③ Laterizi	④ Altri Elementi
Malte				
⑤ Tradizionali <input type="checkbox"/> In buono stato di conservazione <input checked="" type="checkbox"/> In cattivo stato di conservazione	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
⑥ Stucature recenti <input type="checkbox"/> In buono stato di conservazione <input type="checkbox"/> In cattivo stato di conservazione	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Degrado	Erosione dei giunti	⑦ Degrado degli elementi lapidei		Mancanza di elementi lapidei
Estensione E				
E < 10%	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10% < E < 25%	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25% < E < 50%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
50% < E < 75%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
E > 75%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
NOTE:				
① Bozze non lavorate di pietra arenaria locale.				
② Ciottoli di pietra arenaria locale utilizzati come riempimento tra le bozze più irregolari.				
③ Laterizi in frammenti e frammenti di altro materiale ceramico inseriti come riempimento tra le bozze più irregolari				
④ Frammenti di Flynch arenaceo in lastre utilizzati per regolarizzare l'orizzontalità dei filari in muratura				
⑤ Malte di allettamento terrigene.				
⑥				
⑦ Forte erosione delle bozze in arenaria ma molto localizzata in una piccola area				



TABELLA 2_MURATURA: TESSITURA REGOLARE E DI BUONA QUALITÀ <input type="checkbox"/>				
Elementi lapidei	① Pietra squadrata	② Laterizi	③ Blocchetti	④ Mista
Malte				
⑤ Tradizionali <input type="checkbox"/> In buono stato di conservazione <input type="checkbox"/> In cattivo stato di conservazione	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
⑥ Stucature recenti <input type="checkbox"/> In buono stato di conservazione <input type="checkbox"/> In cattivo stato di conservazione	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Spessore dei giunti S	<input type="checkbox"/> $S < 1 \text{ cm}$	<input type="checkbox"/> $1 \text{ cm} < S < 3 \text{ cm}$	<input type="checkbox"/> $S > 3 \text{ cm}$	
Degrado	Erosione dei giunti	⑦ Degrado degli elementi lapidei	Mancanza di elementi lapidei	
Estensione E				
$E < 10\%$	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$10\% < E < 25\%$	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$25\% < E < 50\%$	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$50\% < E < 75\%$	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$E > 75\%$	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
NOTE:				
①				
②				
③				
④				
⑤				
⑥				
⑦				


TABELLA 3_MURATURA: NON A VISTA <input type="checkbox"/>				
Tipologia intonaco Spessore S	① Tradizionale		Non tradizionale	
	Un livello	② Più livelli		
S < 3 cm	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3 cm < S < 5 cm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
S > 5 cm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Spessore non rilevabile	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Degrado Estensione E	③ Distacco		Fessurazione / Lesione	
	E < 10%	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	10% < E < 75%	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	E > 75%	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
NOTE:				
① Malta di finitura superficiale a base di calce, sabbia con aggiunte di fibre vegetali.				
②				
③ La finitura superficiale ha lasciato scoperta per distacco con caduta una parte di muratura. Rimane presente su quasi tutta la superficie del prospetto, sebbene appaia in molti punti prossima al distacco.				
				


TABELLA 4_STRUTTURE IN LEGNO <input type="checkbox"/>			
Degrado	①		Elementi mancanti
Struttura	Elementi degradati		
Orditura Principale	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Orditura Secondaria	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Estensione del degrado	<input type="checkbox"/> 10-50%	<input type="checkbox"/> 50-75%	<input checked="" type="checkbox"/> >75%
NOTE:			
① Attacchi biodeteriogeni e fungini.			
			

TABELLA 5_ELEMENTI NOTEVOLI <input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Cantonali	
<input checked="" type="checkbox"/> Cornici	Cornici finestre: semplici in arenaria locale.
<input checked="" type="checkbox"/> Portali	Portale molto semplice in arenaria locale.
<input type="checkbox"/> Decorativi/Altro	

SEZIONE 3 PRESCRIZIONI PER LA DIAGNOSTICA

Componente Strutturale	Danno	Assente		Leggero			Medio Grave		
		Estensione del degrado		Estensione del degrado			Estensione del degrado		
		< 75%	>75%	10-50%	50-75%	>75%	10-50%	50-75%	>75%
Murature	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Strutture in legno	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Componente non strutturale	Danno	Assente				Presente (Lesioni)			
		Estensione del degrado				Estensione del degrado			
		< 75%		>75%		< 75%		>75%	
Intonaci	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

<input type="checkbox"/>	0	Punteggio	ESITO
<input type="checkbox"/>	1	0-3	<input type="checkbox"/> Progetto diagnostico conoscitivo
<input type="checkbox"/>	2	4-5	<input checked="" type="checkbox"/> Verifica strutturale / progetto diagnostico conoscitivo
<input type="checkbox"/>	3	6-9	<input type="checkbox"/> Verifica strutturale

Prescritte demolizioni o rimozioni di materiale “provvedimenti di pronto intervento scheda AeDES “	<input type="checkbox"/>	Prelievo di materiale per indagini diagnostiche conoscitive	<input checked="" type="checkbox"/>
MOTIVAZIONI DEL PRELIEVO: Caratterizzazione della malta di allettamento apparentemente terrigena e confronto composizionale con la malta di finitura superficiale.			

**SCHEDA DI 1° LIVELLO DI RILEVAMENTO DANNO, PRONTO INTERVENTO E
AGIBILITÀ PER EDIFICI ORDINARI NELL'EMERGENZA POST-SISMICA**

ALLEGATO DI APPROFONDIMENTO MATERICO-DIAGNOSTICO

ID SCHEDA: Edificio B – Preta (Amatrice)

DATA aprile/luglio 2018

SEZIONE 1_CONDIZIONI DI BASE: DATI SCHEDA AeDES

Età Edificio	Costruzione:	<input type="checkbox"/> < 1919	Ristrutturazione:	<input type="checkbox"/> 19 ÷ 45
		<input checked="" type="checkbox"/> 19 ÷ 45		<input type="checkbox"/> 46 ÷ 61
				<input type="checkbox"/> 62 ÷ 71
				<input type="checkbox"/> 72 ÷ 81
				<input type="checkbox"/> 82 ÷ 86
				<input type="checkbox"/> 87 ÷ 91
				<input type="checkbox"/> 92 ÷ 96
				<input type="checkbox"/> 97 ÷ 01
				<input type="checkbox"/> 02 ÷ 08
				<input type="checkbox"/> 09 ÷ 11
				<input type="checkbox"/> > 2011

DANNI A ELEMENTI STRUTTURALI	<input type="checkbox"/> Medio Grave	<input checked="" type="checkbox"/> Leggero	<input type="checkbox"/> Nullo
-------------------------------------	--------------------------------------	---	--------------------------------

ESITO DI AGIBILITÀ	<input checked="" type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> D	<input type="checkbox"/> E	<input type="checkbox"/> F
-------------------------------	---------------------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------

SEZIONE 2 APPROFONDIMENTO MATERICO
TABELLA 1_MURATURA: TESSITURA IRREGOLARE E DI CATTIVA QUALITÀ □

Elementi lapidei	① Bozze non lavorate	② Ciottoli	③ Laterizi	④ Altri Elementi
Malte				
⑤ Tradizionali □ In buono stato di conservazione □ In cattivo stato di conservazione	□	□	□	□
⑥ Stucature recenti □ In buono stato di conservazione □ In cattivo stato di conservazione	□	□	□	□
Degrado	Erosione dei giunti	⑦	Degrado degli elementi lapidei	Mancanza di elementi lapidei
Estensione E				
E < 10%	□		□	□
10% < E < 25%	□		□	□
25% < E < 50%	□		□	□
50% < E < 75%	□		□	□
E > 75%	□		□	□
NOTE:				
①				
②				
③				
④				
⑤				
⑥				
⑦				

TABELLA 2_MURATURA: TESSITURA REGOLARE E DI BUONA QUALITÀ □				
Elementi lapidei	① Pietra squadrata	② Laterizi	③ Blocchetti	④ Mista
Malte				
⑤ Tradizionali <input type="checkbox"/> In buono stato di conservazione <input type="checkbox"/> In cattivo stato di conservazione	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
⑥ Stuccature recenti <input type="checkbox"/> In buono stato di conservazione <input type="checkbox"/> In cattivo stato di conservazione	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Spessore dei giunti S	<input type="checkbox"/> $S < 1 \text{ cm}$	<input type="checkbox"/> $1 \text{ cm} < S < 3 \text{ cm}$	<input type="checkbox"/> $S > 3 \text{ cm}$	
Degrado	Erosione dei giunti	⑦ Degrado degli elementi lapidei	Mancanza di elementi lapidei	
Estensione E				
$E < 10\%$	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$10\% < E < 25\%$	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$25\% < E < 50\%$	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$50\% < E < 75\%$	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$E > 75\%$	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
NOTE:				
①				
②				
③				
④				
⑤				
⑥				
⑦				

TABELLA 3_MURATURA: NON A VISTA <input type="checkbox"/>			
Tipologia intonaco Spessore S	① Tradizionale		Non tradizionale
	Un livello	② Più livelli	
S < 3 cm	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 cm < S < 5 cm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
S > 5 cm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Spessore non rilevabile	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Degrado Estensione E	③ Distacco		Fessurazione / Lesione
E < 10%	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
10% < E < 75%	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
E > 75%	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
NOTE:			
① Intonaco a base di calce e/o legante cementizio e sabbia, spessore 2,5 cm. Decorato ad incisione in superficie con motivo a scacchiera diagonale.			
② Visibile stratificazione :rinzafo, arriccio, intonachino e tinta.			
③ Distacchi con caduta dovuti all'azione del sisma.			




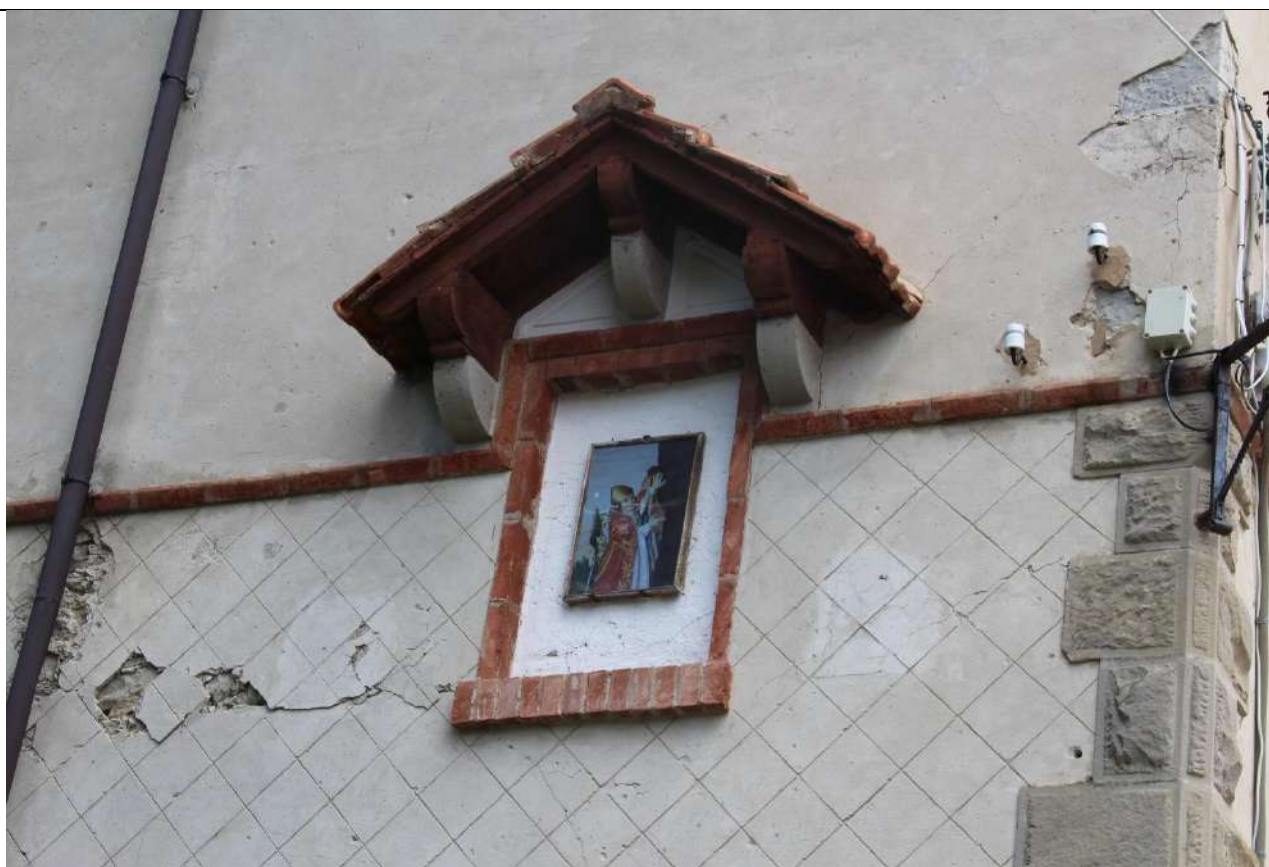
TABELLA 4_STRUTTURE IN LEGNO <input type="checkbox"/>			
Degrado	①		Elementi mancanti
Struttura	Elementi degradati		
Orditura Principale	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Orditura Secondaria	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Estensione del degrado	<input type="checkbox"/> 10-50%	<input type="checkbox"/> 50-75%	<input type="checkbox"/> >75%
NOTE:			
①			
			

TABELLA 5_ELEMENTI NOTEVOLI <input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Cantonali	
<input checked="" type="checkbox"/> Cornici	Cornici decorative in laterizio. Fasce con motivi a losanga in cemento decorativo.
<input checked="" type="checkbox"/> Portali	Portale in arenaria locale con dettagli in cemento decorativo .
<input checked="" type="checkbox"/> Decorativi/Altro	Bifore in pietra locale (cornicione e colonne) e in cemento decorativo.

Basamento in cemento e imitazione cantonale in bugnato in cemento decorativo.
Edicola votiva.



SEZIONE 3_PRESCRIZIONI PER LA DIAGNOSTICA

Componente Strutturale	Danno	Assente		Leggero			Medio Grave		
		Estensione del degrado		Estensione del degrado			Estensione del degrado		
		< 75%	>75%	10-50%	50-75%	>75%	10-50%	50-75%	>75%
Murature	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Strutture in legno	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Componente non strutturale	Danno	Assente				Presente (Lesioni)			
		Estensione del degrado				Estensione del degrado			
		< 75%		>75%		< 75%		>75%	
Intonaci	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

<input type="checkbox"/>	0		Punteggio	ESITO
<input type="checkbox"/>	1		0-3	<input checked="" type="checkbox"/> Progetto diagnostico conoscitivo
<input type="checkbox"/>	2		4-5	<input type="checkbox"/> Verifica strutturale / progetto diagnostico conoscitivo
<input type="checkbox"/>	3		6-9	<input type="checkbox"/> Verifica strutturale

Prescritte demolizioni o rimozioni di materiale "provvedimenti di pronto intervento scheda AeDES "	<input type="checkbox"/>	Prelievo di materiale per indagini diagnostiche conoscitive	<input checked="" type="checkbox"/>
MOTIVAZIONI DEL PRELIEVO: Caratterizzazione dell'intonaco e delle malte cementizie decorative.			

4.2 Caratterizzazione delle malte del territorio amatriciano

Come già detto nel precedente paragrafo, le peculiarità rivelate dall'analisi a vista delle malte hanno sollecitato l'approfondimento della loro caratterizzazione. La resistenza delle malte di allettamento, a presunta componente terrigena, diffuse nel territorio, è stata stimata mediante una campagna di misure penetrometriche *in situ*. Sono state poi campionate e analizzate in microscopia ottica sia le malte di allettamento che quelle di finitura. È stato verificato il contenuto di calce nelle due tipologie, mettendo in evidenza l'assenza di tale legante nelle malte di allettamento. Le componenti mineralogiche dei materiali sono state individuate mediante analisi XRD, altre caratteristiche sono state esaminate al SEM.

4.2.1 Stima della resistenza, campionamento delle malte e lavorazione dei campioni

La resistenza delle malte di allettamento è stata stimata mediante prove penetrometriche eseguite *in situ* su otto edifici storici di Cornillo Nuovo, frazione di Amatrice²⁰². Sono stati registrati valori di resistenza compresi tra 0,8 e 2,3 MPa, ben inferiori rispetto ai requisiti minimi di qualità riassunti nella tabella 2.1.2, al capitolo 2 di questa tesi. Anche in funzione di tali risultati, si è deciso di procedere all'approfondimento diagnostico inerente alla caratterizzazione delle malte in laboratorio. I campioni per le indagini diagnostiche sono stati prelevati da edifici storici situati a Capricchia, Cornillo Nuovo, Retrosi e Preta, laddove sussistevano condizioni di accessibilità e sicurezza per le operazioni di campionamento. Sono stati isolati 14 campioni, 7 relativi a malta di allettamento e 7 a malta di finitura, associando 'a coppia' allettamento e finitura, quindi selezionando quegli edifici che presentavano ancora entrambi i materiali storici. La fase di campionamento è stata documentata localizzando l'edificio campionato e il punto esatto del prelievo. Ad ogni campione è stato assegnato al momento del prelievo un codice univoco di identificazione. I campioni sono stati fotografati, schedati e lavorati presso l'AStRe LabMat del Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura di Sapienza Università di Roma²⁰³. Per quasi ognuno di loro è stato possibile inglobare in resina un frammento per ottenere una sezione lucida osservabile in microscopia ottica e lasciarne una porzione rimanente non trattata, in vista di eventuali e ulteriori indagini diagnostiche.

²⁰² Per motivi legati alla gestione dell'emergenza sismica quali variazioni delle perimetrazioni delle zone rosse e relativi permessi di accesso, non è stato possibile eseguire le prove penetrometriche e i campionamenti per le indagini di laboratorio sugli stessi edifici. Si è comunque ritenuto opportuno eseguire tali prove per poter stimare la resistenza della malta di allettamento utilizzata per l'edilizia diffusa. I risultati delle indagini a vista testimoniava la presenza di caratteristiche omogenee in tutto il territorio indagato.

²⁰³ Laboratorio analisi materiali Architettura Storica e Restauro. (AStRe Lab Mat). Responsabili scientifici: proff. Donatella Fiorani e Fabrizio De Cesaris. Responsabile tecnico: arch. Elisabetta Giorgi.

4.2.2 Iter analitico per la caratterizzazione e risultati delle indagini

Analisi in microscopia ottica

I campioni sono stati studiati al microscopio ottico sia allo stato originario del prelievo che in sezione lucida²⁰⁴. I campioni di malta di allettamento hanno presentato in fase di lavorazione una consistenza molto fragile, confermata nelle osservazioni in microscopia ottica dal rinvenimento di numerose fessurazioni e vuoti. Le malte di allettamento osservate al microscopio ottico hanno rivelato una composizione a legante argilloso e aggregato sabbioso presente in rilevante quantità²⁰⁵. In un solo campione è stata riscontrata la presenza di calce aerea in forma di granuli isolati, non ben impastati e in quantità esigua. Da una prima caratterizzazione in microscopia ottica gli aggregati sono stati mineralogicamente ricondotti a sabbia quarzifera, fillosilicati, miche e ossidi di ferro²⁰⁶. Tali minerali sono presenti in forma di sabbie a granuli arrotondati, si sono quindi formati naturalmente a seguito dei processi di alterazione subiti dalle giaciture litiche. Pertanto, le analisi in microscopia ottica hanno confermato l'ipotesi iniziale secondo la quale le malte storiche di allettamento del territorio fossero composte da terra prelevata dal suolo. Le malte di finitura sono invece risultate composte da calce aerea, talvolta miscelata con frazioni argillose, e aggregati sabbiosi quarzifero/micacei ben classati, di granulometria molto fine. Molto frequente è stato il riscontro di difetti del legante presenti in forma

²⁰⁴ Questa doppia lettura dei campioni consente di apprezzare caratteristiche più evidenti in una o nell'altra modalità di osservazione. L'osservazione allo stereomicroscopio di un campione non inglobato evidenzia la morfologia tridimensionale delle componenti del materiale, ma non consente una visione globale di un'intera sezione mostrando a fuoco solo alcune parti inquadrare dalle ottiche del microscopio. L'analisi preliminare alla lavorazione dei campioni stessi in quanto consente di valutare la consistenza dei materiali al fine di dosare opportunamente i materiali per il consolidamento (inglobamento) e i tempi necessari ad ottenere una pasticca con le caratteristiche tecniche adeguate per la fase di taglio e lucidatura. L'osservazione e la documentazione della morfologia del campione non lavorato consente inoltre l'individuazione del punto di sezionamento dello stesso. La sezione lucida consente invece di osservare su un piano le caratteristiche microscopiche del materiale senza incorrere in fenomeni di visione fuori fuoco, permettendo pertanto un'analisi ad ingrandimenti maggiori.

²⁰⁵ Non è stato possibile elaborare una vera e propria stima del rapporto legante/aggregato in quanto la tipologia di malta analizzata non è confrontabile con quelle a cui si riferiscono le procedure standard, sia per la natura del legante, che non è né aereo né idraulico, che per la granulometria, molto fine, dell'aggregato.

²⁰⁶ Si fornisce un breve glossario di definizione delle famiglie mineralogiche citate nel testo:

- Quarzo: minerale composto da diossido di silicio, SiO_2 , organizzato in tetraedri così da conferire al cristallo un abito trigonale. È il minerale base della famiglia dei silicati, il secondo minerale più diffuso sulla crosta terrestre. Si origina dal raffreddamento lento dei magmi acidi, è pertanto una componente essenziale delle rocce magmatiche intrusive come i graniti. La sua grande resistenza alla degradazione chimica lo rende una delle principali componenti delle arenarie, che si formano per sedimentazione di minerali provenienti dall'alterazione delle rocce madri. Riconoscibile per il suo aspetto vetroso, talvolta lattiginoso.
- Fillosilicati: minerali silicati composti da $\text{A}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ oppure $\text{Al}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ dove A può essere sostituito con Ca, Mg, Al, Na, Fe, Li, Ba, organizzati in strutture miste tetraedriche e ottaedriche che conferiscono ai cristalli dei tipici piani di sfaldatura che li rendono riconoscibili al microscopio assieme ad una tipica colorazione bruna.
- Miche: sottogruppo dei fillosilicati che, in ragione di una diversa organizzazione dei legami intermolecolari assumono conformazioni ancor più laminari. Sono identificabili appunto dal loro abito laminare nonché dalla superficie molto riflettente, di colore bruno o trasparente a seconda della composizione chimica specifica.
- Ossidi di Ferro: Il ferro puro non esiste in natura ma si trova sotto forma di ossidi come la magnetite (Fe_3O_4) o l'ematite (Fe_2O_3), e molti altri. Sono tutti minerali tipicamente componenti dei suoli.

di grandi calcinelli. È stata inoltre registrata la presenza di additivi nell'impasto, principalmente fibre vegetali, paglia e pula di grano.

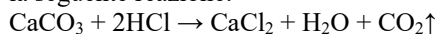
Saggi microanalitici

Dalle osservazioni dei campioni in microscopia ottica, le malte di allettamento sono risultate prive di componente carbonatica, riconducibile all'uso di calce aerea nell'impasto. Tale composizione è piuttosto rara in murature lapidee. Solitamente malte a base di terra cruda sono utilizzate nell'allettamento di mattoni, sempre in crudo, come accade in molte aree del bacino del mediterraneo e in zone rurali del nostro territorio nazionale²⁰⁷. Inoltre, la contestuale presenza di calce nelle malte di finitura ha sollevato alcuni dubbi sull'effettiva mancanza di legante aereo negli allettamenti. Nel legante può capitare, infatti, che i cristalli di calcite non siano visibili nemmeno in microscopia ottica²⁰⁸. Per fugare ogni dubbio circa l'effettiva assenza di calce nelle malte di allettamento si è pertanto scelto di procedere con l'applicazione di una tecnica diagnostica per saggi chimici microanalitici²⁰⁹. Il carbonato di calcio costituente l'eventuale componente di calce aerea nel campione di malta, viene facilmente decomposto dagli acidi. La formazione di anidride carbonica in seguito alla reazione sviluppa effervescenza osservabile al microscopio. Si è quindi sottoposta al saggio microanalitico con soluzione acquosa di HCl, una piccola quantità di ogni campione prelevato utilizzando la frazione residua non inglobata in resina. Si era già consapevoli che la componente costituita dagli aggregati fosse esclusivamente di natura silicatica (Quarzo, Fillosilicati, Miche e Ossidi di Ferro) e che quindi l'unica eventuale frazione carbonatica reattiva fosse unicamente

²⁰⁷ Nella piana di Marengo nell'alessandrino (Piemonte), permangono molti edifici realizzati mediante la tecnica del pisè, ovvero pressando terra cruda in casseforme lignee (BALDACCIO 1958). Anche in Toscana, specie nel centro di San Giovanni Valdarno (AR), esistono antiche case a portico interamente costruite in terra cruda (FRANCOVICH, GELICHI, PARENTI 1980). Ulteriori presenze ottocentesche si registrano in Umbria nell'area del Lago Trasimeno e in alcune aree rurali di Marche, Abruzzo, Puglia e Calabria (SARACCO 2010). La più cospicua presenza di architettura storica in terra si registra in Sardegna nel Campidano (ACHENZA, SANNA 2009).

²⁰⁸ I materiali inorganici non visibili al microscopio ottico sono anche detti criptocristallini (ovvero i cui cristalli rimangono nascosti). Un normale microscopio ottico arriva mediamente a un massimo di cento ingrandimenti. Talvolta alcune componenti, soprattutto di precipitazione interstiziale, come può considerarsi un legante aereo se presente in basse concentrazioni nell'impasto, sviluppano cristalli di accrescimento ancora troppo piccoli per essere individuati, anche al massimo degli ingrandimenti. Occorrono strumenti più sofisticati per poterli osservare, come per esempio il SEM.

²⁰⁹ I saggi microanalitici sono ampiamente utilizzati nel restauro per il riconoscimento dei materiali costitutivi. Consentono la determinazione qualitativa di specie presenti nel campione sfruttando reazioni chimiche, dirette o indirette molto specifiche e selettive, in grado di produrre variazioni, apprezzabili in osservazione al microscopio ottico, dei materiali in seguito all'aggiunta di opportuni reattivi. Un campione di malta legato con calce aerea contiene sicuramente carbonato di calcio (CaCO₃). Il saggio microanalitico per la determinazione del carbonato di calcio viene eseguito facendo reagire il campione incognito con una soluzione acida. Dalla reazione si sviluppa acido carbonico (H₂CO₃) che immediatamente si decompone in acqua e anidride carbonica. In presenza di acido cloridrico (HCl) ad esempio avviene la seguente reazione:



La formazione di anidride carbonica (CO₂), come specificato in reazione mediante il simbolo della freccia rivolta verso l'alto, sviluppa effervescenza osservabile al microscopio ottico anche per piccolissime quantità di campione messe a contatto con il reagente.

riconducibile alla composizione del legante. L'analisi ha confermato la totale assenza di componenti carbonatiche nelle malte di allettamento, sviluppando effervescenza solo sulle polveri derivanti da campioni di malta di finitura.

Analisi mineralogica in diffrazione dei raggi X (XRD)

L'approfondimento diagnostico sin qui condotto aveva fornito informazioni sulle caratteristiche materiche e composizionali dei campioni. Uno degli obiettivi di studio prefissi era anche la ricostruzione dei processi di produzione tradizionali. Si è deciso quindi di procedere confrontando la composizione mineralogica delle malte con la composizione mineralogica dei litotipi più diffusi nel territorio, così da stabilire la relazione fra produzione dei materiali edilizi tradizionali e risorse territoriali. A tale scopo sono stati campionati alcuni materiali litici raccolti in forma di maceria e alcuni affioramenti geologici di materiale analogo a quello impiegato nelle murature. In alcuni casi tali affioramenti sono stati individuati sui probabili antichi fronti di cava. Le analisi sono state condotte presso il Dipartimento di Scienze della Terra di Sapienza Università di Roma, mediante l'utilizzo della tecnica di diffrazione dei raggi X²¹⁰. Sia i campioni litici arenacei provenienti dagli edifici che quelli in affioramento hanno fornito composizioni mineralogiche confrontabili tra loro. Le arenarie sono risultate costituite per lo più da granuli di Quarzo, Albite, Clorite e Muscovite legati con cemento carbonatico di Calcite e Dolomite²¹¹. Un solo campione litico, proveniente da un affioramento in alta quota sul Monte Gorzano, ben lontano dalle zone abitate, è risultato essere un calcare compatto composto esclusivamente da Calcite²¹². I diffrattogrammi relativi alle malte di finitura hanno determinato composizioni mineralogiche analoghe a quelle dei litotipi arenacei con la presenza di un ulteriore minerale, il Sanidino, che è uno dei prodotti di alterazione dell'Albite. Il Sanidino è risultato presente anche nei campioni delle malte di allettamento, nei quali non è stata riscontrata, come già ci si aspettava, la presenza di Calcite.

²¹⁰ Si ringrazia per la collaborazione la Dott.ssa Aida Maria Conte del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Roma "La Sapienza".

²¹¹ Si fornisce un breve glossario di definizione delle specie mineralogiche citate nel testo:

- Albite: minerale della famiglia dei feldspati composto da $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$. Di origine magmatica può trovarsi nelle arenarie come sedimento proveniente dall'alterazione delle rocce madri.
- Clorite: minerale della famiglia dei fillosilicati composti da $(\text{MgFeAl})_8(\text{SiAl})_8\text{O}_{20}(\text{OH})_{16}$. La serie delle Cloriti si forma a seguito di processi di basso metamorfismo. Nel caso delle arenarie analizzate possono essersi originate in seguito alla pressione diagenetica di sedimentazione nel bacino di formazione.
- Muscovite: minerale della famiglia delle miche composto da sottogruppo dei fillosilicati che, in ragione di una diversa organizzazione dei legami intermolecolari assumono conformazioni ancor più laminari. Sono identificabili appunto dal loro abito laminare nonché da $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$.
- Dolomite: Variante magnesiaca della Calcite. La composizione della Calcite è CaCO_3 , quella della Dolomite è CaMgCO_3 .

²¹² La ricerca di affioramenti calcarei è stata motivata dalla necessità di individuare le fonti primarie di materiale utilizzabile per produrre calce, molto scarse in tutto il territorio, come già visto anche nel capitolo 3.

Globalmente, i dati forniti dall'analisi XRD possono essere così interpretati: il litotipo più diffuso nel territorio è un'arenaria composta da sedimenti sabbiosi mineralogicamente individuati come Albite, Clorite, Muscovite e Quarzo, legati a cemento carbonatico debolmente dolomitico. Rari affioramenti di calcare compatto sono presenti solo in alcune zone per lo più in alta quota. Da tali affioramenti si ricavava tradizionalmente la calce utilizzata per la realizzazione delle malte di finitura, impastata con sabbie provenienti dalla disgregazione naturale dei litotipi arenacei.

Infatti, il segnale XRD proveniente dalla frazione di aggregato delle malte di finitura fornisce gli stessi dati di composizione mineralogica dei litotipi arenacei. La presenza del Sanidino dimostra l'avvenuta decomposizione naturale dell'arenaria (argillificazione) essendo esso un prodotto di alterazione di una delle sue fasi mineralogiche, l'Albite. Le sabbie utilizzate come aggregati nelle malte di finitura, provenivano quindi da un processo di purificazione delle argille, raccolte probabilmente nei letti dei numerosi torrenti del territorio. La composizione delle malte di allettamento dimostra l'utilizzo di terra derivante dal naturale processo di argillificazione dei litotipi arenacei. Infatti, i segnali XRD sono del tutto analoghi a quelli delle sabbie presenti nelle malte di finitura, compreso il Sanidino. Negli allettamenti, pertanto, le argille raccolte non venivano depurate poiché la loro frazione fine fungeva da legante. La calcite è assente in quanto la calce non era utilizzata nelle malte di allettamento; la calce presente nei litotipi arenacei si decompone chimicamente e non lascia tracce nei terreni.

Analisi in microscopia elettronica e microanalisi in fluorescenza X

Alcuni campioni della malta di allettamento e di finitura superficiale sono stati osservati al Microscopio Elettronico a Scansione (SEM) presso il Centro Microscopie dell'Università degli Studi dell'Aquila²¹³. L'indagine ha permesso di chiarire la natura di alcune fibre presenti nei campioni e di verificare a ingrandimenti più spinti la consistenza dei materiali in relazione alla composizione locale degli impasti.

²¹³ Si ringrazia in particolar modo per la collaborazione ed il supporto tecnico il Dott. Lorenzo Arrizza.

4.2.3 Interpretazione storico-geografica delle lavorazioni delle malte

Composizione delle malte storiche di allettamento

Dai risultati emersi dalla campagna diagnostica illustrata nel precedente paragrafo, le malte di allettamento storiche risultano composte da terra cruda pressata. Le indagini in microscopia ottica hanno evidenziato una composizione a legante argilloso e aggregato sabbioso caratterizzato mineralogicamente anche su base di analisi XRD. La granulometria molto fine degli aggregati e l'apparente assenza di vagliatura lascia intendere un uso diretto del terreno disponibile *in situ*, senza particolari raffinazioni. Gli esami XRD hanno evidenziato inoltre la stretta connessione fra le componenti mineralogiche dei litotipi arenacei affioranti nel territorio e quelle delle malte di allettamento. I minerali individuati sono esattamente gli stessi, a meno della presenza del Sanidino e dell'assenza della Calcite e della Dolomite. Anche questo dato conferma l'ipotesi dell'impiego di terra prelevata sul posto. Il terreno, infatti, nasce dalla degradazione della roccia madre, in questo caso dall'argillificazione dell'arenaria. Questo fenomeno è molto lento ed è causato da processi di tipo meccanico, fisico e chimico. Tra i processi di trasformazione di tipo chimico c'è quello della dissoluzione di Calcite e Dolomite, che generalmente vengono decomposte prima di altri minerali di natura silicatica. Contestualmente l'alterazione chimica di alcune delle componenti albitiche delle arenarie può produrre minerali di neoformazione come il Sanidino. Questo spiega come la Calcite e la Dolomite siano presenti nell'arenaria e non nelle malte di allettamento, e come viceversa il Sanidino sia presente solo nelle malte. L'impiego di terra senza aggiunta di calce (riscontrata in quantità del tutto trascurabile, solo in osservazione in microscopia ottica, in uno solo dei campioni) era già stato confermato anche dai preliminari saggi microanalitici.

Per quanto concerne altre componenti della malta, sulla base delle analisi condotte, possono essere escluse aggiunte intensionali di fibre in fase di lavorazione. L'aggiunta di fibre, specialmente in un impasto a legante argilloso, riduce il ritiro e le fessurazioni da esso indotte e contemporaneamente drena l'umidità verso l'esterno²¹⁴. Tuttavia, la presenza di fibre vegetali è stata riscontrata in un solo campione, in quantità non significativa. Altre componenti fibrose osservate in microscopia ottica sono state poi caratterizzate a ingrandimenti più spinti al SEM che, come si è già detto, hanno rivelato la loro natura di ife fungine, non vegetali o animali. Si è così diagnosticato uno stato conservativo precario delle malte dovuto alla presenza di attacchi biologici, certamente favoriti dall'alta igroscopicità e dall'abbondante contenuto d'acqua del materiale. Ulteriori considerazioni riguardano le componenti ferrose dei minerali presenti nelle Cloriti, individuate in fase ossidata in microscopia

²¹⁴ FONTANA 2006.

ottica ed evidenziate anche tramite analisi SEM-EDS. È stato osservato che le malte appaiono più compatte in corrispondenza delle zone a maggiore concentrazione del Ferro, fenomeno che conferisce una disomogeneità interna al materiale del tutto casuale. Questa disomogeneità apre a una serie di interrogativi, come ad esempio se queste zone a maggiore compattezza siano più resistenti delle altre e quali effetti questo possa comportare. Per esempio, dal punto di vista dell'analisi dei meccanismi di degrado, una situazione di tale disomogeneità può favorire comportamenti differenziali. Gli stessi interrogativi si ripresentano ipotizzando l'applicazione di un trattamento consolidante.

Composizione delle malte di finitura storiche

Le malte di finitura sono risultate composte da legante a base di calce aerea e aggregato sabbioso. Il legante ha presentato difetti di cottura, che si sono manifestati mediante la presenza di grandi e numerosi calcinelli. L'osservazione in microscopia ottica ha evidenziato una buona vagliatura degli aggregati e l'aggiunta intensionale e sistematica di fibre vegetali negli impasti. Questo riscontro attesta una buona tradizione acquisita nella lavorazione degli impasti per le malte di finitura. Le indagini XRD sulle specie mineralogiche presenti hanno confermato la provenienza locale e naturale delle sabbie utilizzate come aggregati. Le indagini al SEM hanno fornito informazioni sulla buona capacità di adesione del legante alle fibre vegetali, confermando la voluta scelta dell'aggiunta, finalizzata evidentemente a evitare fessurazioni da ritiro e a garantire una buona adesione dell'impasto di finitura al substrato. Sorprende la differenza sostanziale fra la composizione e la lavorazione delle malte di finitura superficiale e quelle di allettamento, in primo luogo per l'impiego della calce aerea come legante e poi per l'uso, anche ben strutturato, delle fibre vegetali.

Interpretazione storico-geografica delle lavorazioni delle malte

La presenza di calce aerea nelle malte di finitura e, contestualmente, la totale assenza di questo legante negli allettamenti possono sollevare alcuni interrogativi sulle ragioni o sulla contemporaneità delle lavorazioni. I campioni di malta analizzati sono stati prelevati da edifici storici presumibilmente riconducibili alla fase di ricostruzione post sismica seguita ai devastanti terremoti avvenuti dal 1639 al 1703²¹⁵. Il reimpiego di materiali litici per riedificare le murature è piuttosto plausibile, mentre l'impiego esclusivo di terra negli allettamenti è ragionevolmente dovuto alla scarsa presenza di calcare adatto alla produzione di calce nel territorio²¹⁶. Tale ricostruzione post-sismica è avvenuta peraltro in un periodo storico particolarmente depresso dal punto di vista economico, nel quale l'uso

²¹⁵ Vedi il paragrafo dedicato alla storia sismica del territorio nel capitolo terzo.

²¹⁶ Si rimanda agli studi geo-litologici esposti nel paragrafo 3.4 di questa tesi.

della terra cruda era incoraggiato anche dalla manualistica edile sia in Italia che in Europa²¹⁷. Se si considera, com'è presumibile, che le malte di finitura siano coeve a quelle di allettamento, si può ipotizzare che i costruttori fossero consapevoli della fragilità intrinseca di murature allettate con sola terra. Da tale consapevolezza deriverebbero le differenze riscontrate: la presenza di calce, l'attento vaglio degli aggregati, la consapevole aggiunta di materiali fibrosi vegetali. Queste murature, infatti, se ben protette da uno strato di buona finitura potevano comunque assicurare stabilità e durabilità dell'edificio, sempre che fosse garantita una manutenzione periodica delle strutture, anche con l'eventuale sostituzione di parti ammalorate. Pertanto, la calce prodotta con le poche materie prime idonee reperibili nel territorio veniva consapevolmente riservata alla sola produzione delle malte di finitura superficiale, che fungevano da materiale di protezione delle murature sottostanti. Una parte della calce prodotta veniva utilizzata nella costruzione di pochi altri edifici strategici, come le chiese o i palazzi di una certa rilevanza.

²¹⁷ COINTERAUX 1791, DEL ROSSO 1793, GILLY 1797, RONDELET 1812.

4.2.4 Indicazioni sulle azioni future

L'approfondimento diagnostico presentato ha permesso di caratterizzare le malte campionate e di definirne natura e composizione mineralogica. Si è evidenziata una sostanziale differenza di composizione degli impasti dovuta principalmente alla funzione assolta dalle malte di allettamento e quelle di finitura superficiale.

Rileggendo i risultati analitici alla luce dei dati esistenti sulla storia sismica e sulle caratteristiche geografiche e geologiche del territorio, è stata fornita un'interpretazione dell'uso di diversi materiali disponibili e delle derivanti lavorazioni nelle diverse tipologie di malte, nonché, in generale, dello sviluppo delle tecniche costruttive storiche più diffuse.

I dati forniti contribuiscono alla conoscenza del patrimonio storico architettonico colpito, potenziando una necessaria consapevolezza nei futuri interventi di restauro o ricostruzione. Possono inoltre costituire la base per ulteriori ricerche finalizzate al trattamento delle murature in un'ottica di restauro conservativo. È evidente che il materiale più vulnerabile tra quelli che compongono le murature studiate sia la malta di allettamento in terra cruda. Varie tecniche per il consolidamento di materiali simili sono già stabilmente in uso da tempo²¹⁸. Esistono infatti numerosi studi riguardanti il trattamento di edifici costruiti interamente in terra cruda²¹⁹. Tuttavia, l'edilizia storica del territorio amatriciano non ricade direttamente in quest'ultima casistica, in quanto gli edifici sono costruiti in pietra e terra cruda, motivo in più per auspicare futuri approfondimenti e ricerche. Inoltre, permangono in ogni caso una serie di criticità in relazione alla resa dei trattamenti succitati, principalmente ascrivibili alla scarsa capacità di penetrazione dei materiali consolidanti e a problematiche legate a fenomeni di viraggio del colore. Nella fattispecie, in relazione alla capacità di penetrazione dei consolidanti, va precisato che non sembrano esistere tentativi, perlomeno pubblicati, che ne prevedano l'applicazione per iniezione. Molto diffusa risulta invece l'applicazione a pennello che determina un efficace consolidamento superficiale in grado di proteggere gli strati interni ma non di collaborare a livello strutturale e che presenta comunque una durabilità talvolta limitata nel tempo, dovuta alla tendenza al distacco del materiale trattato. Certamente, i materiali argillosi sono di per sé scarsamente iniettabili ed è pertanto auspicabile che si attivino in futuro delle linee di ricerca per il trattamento per imbibizione e assorbimento delle sostanze consolidanti. Nell'attesa di migliori

²¹⁸ I consolidanti sinora utilizzati più diffusamente per il trattamento dei manufatti in terra cruda sono il silicato di etile, il silicato di potassio, le nano-calci, le nano-silici e l'idrossido di potassio. Tutti presentano criticità legate alla scarsa capacità di penetrazione nel materiale e a fenomeni di viraggio del colore. Il trattamento con idrossido di potassio ha dato migliori risultati in termini di durabilità rispetto agli altri grazie al processo di attivazione alcalina delle fasi argillose dei materiali trattati e loro conversione per geopolimerizzazione in fasi mineralogiche di tipo zeolitico, più stabili rispetto al contenuto di umidità e dotate di una maggiore resistenza meccanica (ELERT 2019).

²¹⁹ SEBASTIAN ET AL. 2015, VALVERDE ET. AL. 2008.

soluzioni si ricorda che le più diffuse pratiche di intervento sull'architettura in terra cruda sono quelle di manutenzione programmata e riproduzione delle tecniche costruttive tradizionali, motivo per cui lo studio scientifico preliminare di caratterizzazione dei materiali in opera appare di fondamentale importanza.

Va sottolineato che, se pure esistessero già delle tecniche di consolidamento più efficaci, queste non basterebbero a risolvere problemi conservativi e di stabilità degli edifici storici studiati. Infatti, sebbene i materiali utilizzati per l'allettamento presentino problematiche conservative intrinseche, non è ad oggi dimostrabile che essi siano stati gli esclusivi responsabili dei crolli avvenuti in seguito al sisma. L'evidente compresenza di edifici in stato di crollo e di fabbriche poco danneggiate costruite con le medesime tecniche tradizionali dimostra con evidenza la correttezza di questo riscontro. Numerosi fattori contribuiscono alla stabilità degli edifici, fra questi uno dei più importanti è la qualità muraria. Le osservazioni dirette degli edifici²²⁰ dimostrano che, sebbene quasi tutte le murature siano state realizzate utilizzando materiale litico poco o affatto lavorato, quelle che hanno mostrato una maggiore resistenza al sisma evidenziano una certa cura nella giustapposizione degli elementi, particolare attenzione alla realizzazione di orizzontamenti o di regolarizzazioni nel paramento, necessari accorgimenti tecnici nelle soluzioni d'angolo, inserimento di diaconi di collegamento tra paramenti esterni e interni e probabile presenza di presidi antisismici come i radiciamenti lignei. Va inoltre considerato che molti dei piccoli centri colpiti dal sisma avevano già subito un considerevole spopolamento e, di conseguenza, la mancata manutenzione di molti edifici²²¹. Di contro, le fabbriche ancora abitate sono state in molti casi ristrutturate, ma in modo improprio, per esempio con il rifacimento di solai e coperture in cemento armato. Questi ultimi si sono rivelati troppo rigidi e pesanti e non sono stati in grado di assicurare una stabilità degli edifici con il sisma. Non va infine dimenticato che studi recenti di microzonazione sismica dimostrano che anche nel confine di un singolo centro abitato possono esistere aree differenziate per capacità di amplificazione del moto sismico, condizionate da caratteristiche dei suoli diverse sia dal punto di vista geologico che topografico²²².

Lo studio qui esposto va quindi inserito in un'ottica più allargata relativa alla valutazione della vulnerabilità degli edifici ancora esistenti, che richiede un approccio pluridisciplinare per giungere a

²²⁰ Vedi paragrafo 4.1

²²¹ Si veda in proposito quanto riportato in ISTAT *Caratteristiche dei territori colpiti dal sisma del 24 Agosto 2016*. <https://www.istat.it/it/files//2016/09/Focus-sisma-15set2016.pdf> (data ultima consultazione 23/08/2019).

²²² D'INTINOSANTE 2018.

conclusioni e a conseguenti decisioni su possibilità e modalità di azione per il recupero dei centri storici più colpiti.

Segue in allegato la relazione sulla caratterizzazione delle malte, con le schede tecniche dei campioni analizzati, la sintesi di tutti i dati analitici rilevati e le relative immagini ad essi associate.

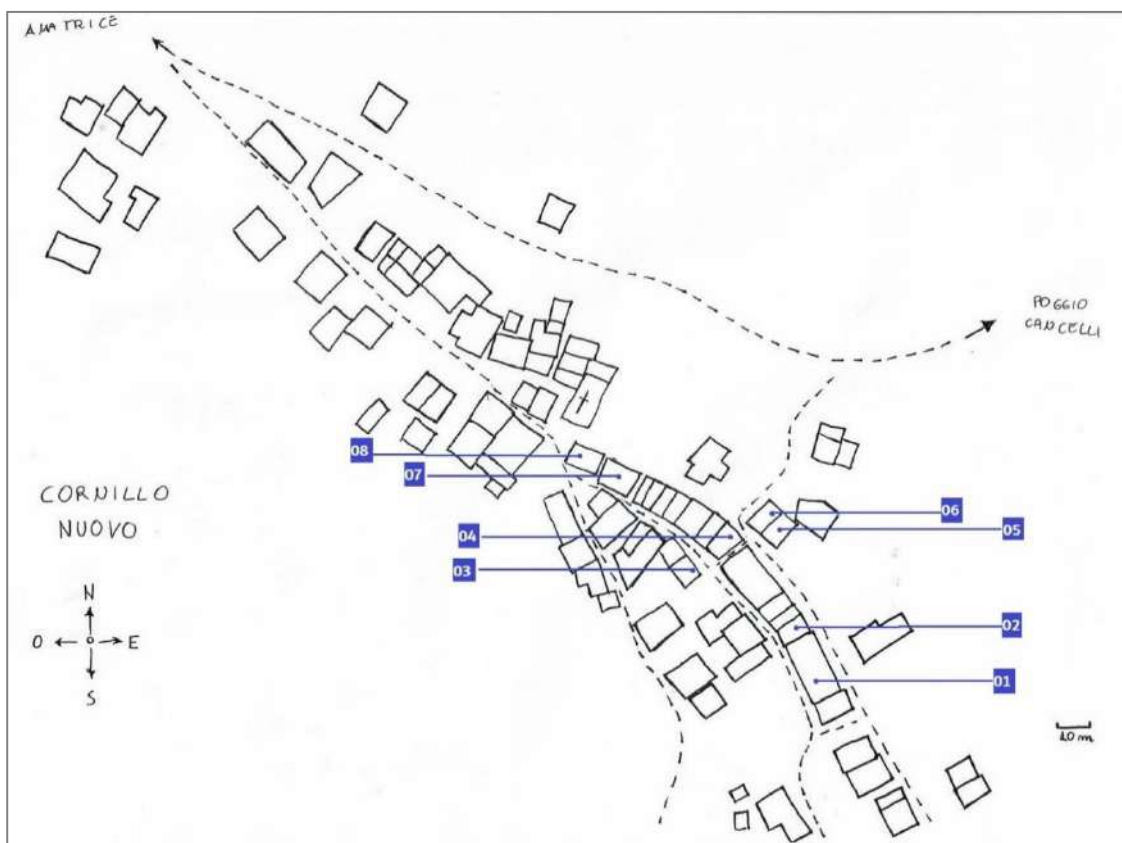
RELAZIONE TECNICA SULLA CARATTERIZZAZIONE DELLE MALTE NEGLI EDIFICI STORICI DEL TERRITORIO DI AMATRICE

CONTENUTI

- RELAZIONE MISURE PENETROMETRICHE *IN SITU*
- CAMPIONAMENTO E INDICIZZAZIONE DEI CAMPIONI
- INDAGINI ALLO STEREOMICROSCOPIO E MICROSCOPIO PETROGRAFICO
- ANALISI XRD
- INDAGINI AL SEM

RELAZIONE MISURE PENETROMETRICHE *IN SITU*²²³

Le prove penetrometriche sono state eseguite al fine di ottenere una stima della resistenza delle malte terrigene di allettamento, tipiche degli edifici storici del territorio di Amatrice. A tale scopo sono stati selezionati otto edifici del centro di Cornillo Nuovo (frazione di Amatrice). Gli edifici sono stati localizzati e codificati mediante numerazione progressiva da 01 a 08.



Le prove sono state eseguite secondo le indicazioni della normativa tecnica di riferimento Fiche UIC 778-3E.

²²³ Per approfondimenti vedi p. 50.

Strumentazione e principio di funzionamento

Le prove sono state eseguite mediante l'utilizzo del penetrometro meccanico per malte RSM_15, realizzato da DRCSrl²²⁴. Lo strumento consente di misurare la risposta della malta alla penetrazione di un ago e correlare tale risposta alle prestazioni meccaniche del materiale. Il penetrometro RSM rientra tra le strumentazioni Non Distruttive. Il penetrometro per malta RSM è costituito da una massa battente collegata ad una molla che, messa in carica manualmente, colpisce un percussore nel quale viene inserito un ago. L'ago, spinto dal percussore, avanza all'interno del giunto di malta. La profondità di penetrazione è inversamente proporzionale alla resistenza che la malta oppone all'avanzamento dell'ago. La grandezza misurata è pertanto la profondità di penetrazione dell'ago, espressa in mm, dopo un numero definito di colpi. Sul penetrometro si aggancia il corpo di misura, che consente contemporaneamente il corretto appoggio alla muratura e la lettura della misura (Fig.4.50). Attraverso l'utilizzo di una curva di correlazione fornita a corredo dello strumento, è possibile ricavare una stima indicativa della resistenza meccanica della malta, espressa in MPa, in funzione della profondità di penetrazione misurata. La curva di correlazione è stata ricavata attraverso sperimentazioni in situ su strutture in muratura, indagate a seguito del sisma del 2012 in Emilia-Romagna (Fig.4.51).

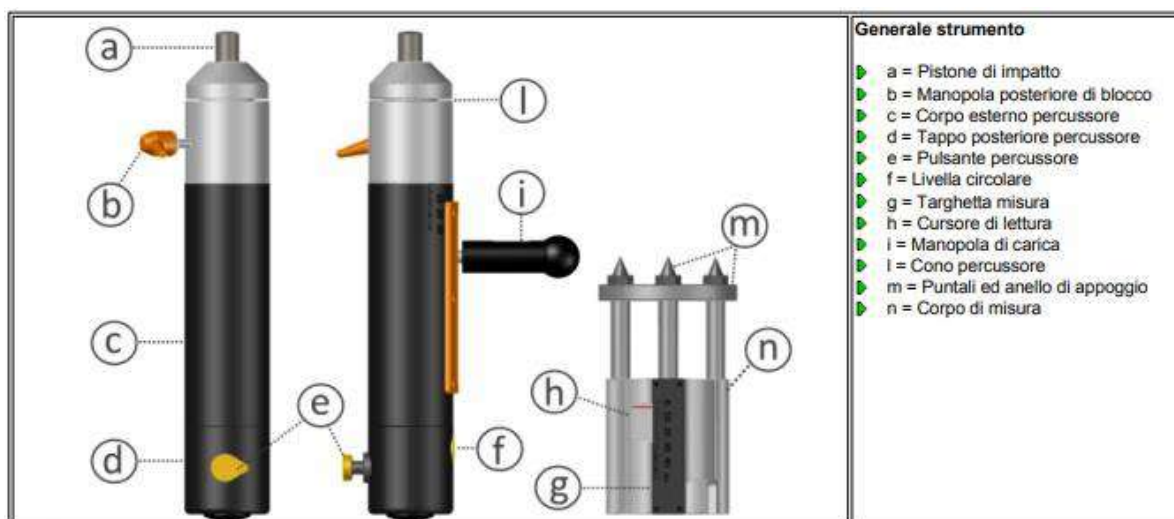


Figura 4.50: Schema delle componenti del penetrometro RSM_15 DRCSrl, dal manuale di utilizzo RSM_15 DRCSrl.

²²⁴ Lo strumento è risultato di non facile gestione a causa del suo elevato peso, della difficoltà di posizionamento della punta ortogonalmente ai ricorsi di malta, con rischio rottura dell'ago, soprattutto in murature storiche che presentino una certa irregolarità delle superfici. Si auspicano pertanto miglioramenti tecnici nella produzione.

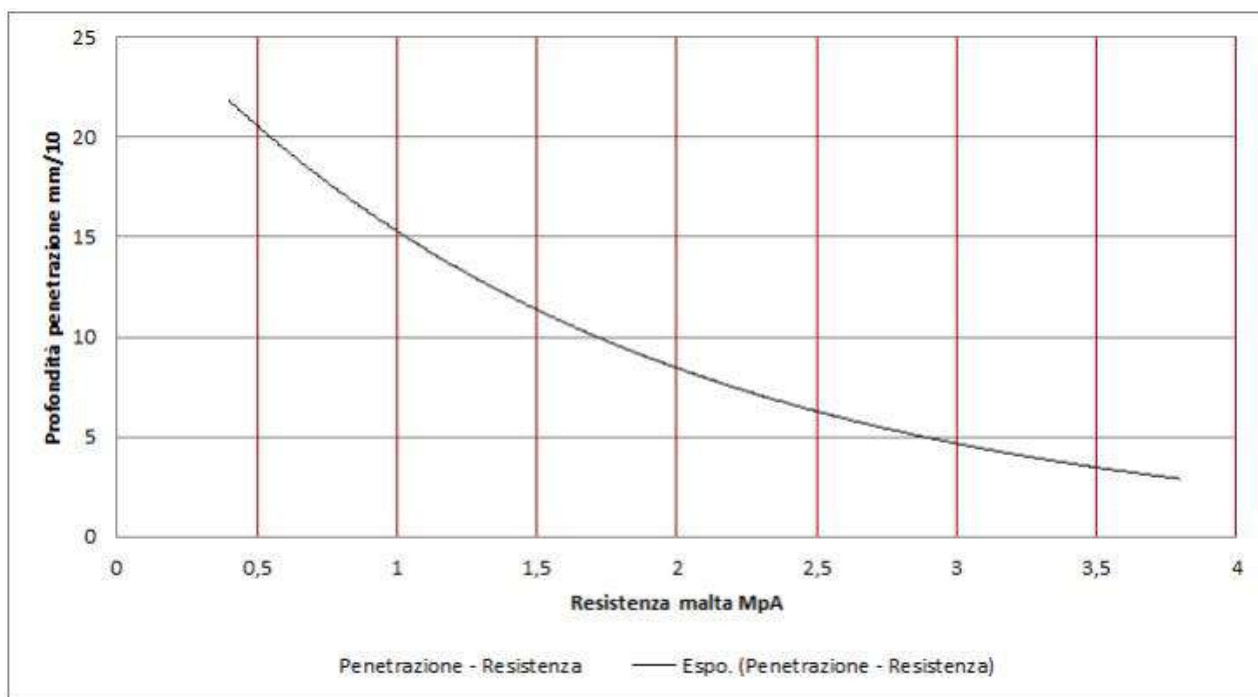


Figura 4.51: Curva di correlazione tra profondità di penetrazione e resistenza meccanica della malta, dal manuale di utilizzo RMS_15 DRCSrl.

Procedura operativa di misura:

Le misure di resistenza *in situ* riportate nel presente documento sono state eseguite attenendosi alla procedura di prova già sperimentata dal produttore dello strumento. Viene di seguito riportata la successione delle operazioni necessarie alla corretta esecuzione della prova.

1. Selezione della muratura da indagare.
2. Selezione del giunto su cui eseguire la prova.
3. Rimozione dello strato più superficiale, al fine di eliminare l'incertezza dovuta alla risposta meccanica da parte di materiale alterato e pertanto non rappresentativo del comportamento della malta.
4. Appoggio del corpo di misura perpendicolarmente alla superficie del giunto.
5. Esecuzione della prova mediante applicazione di 10 battute con il percussore.
6. Rimozione del percussore.
7. Lettura della profondità di penetrazione dell'ago, mediante apposito dispositivo sul corpo di misura.

La procedura viene ripetuta per un minimo di tre saggi, sullo stesso giunto, in punti distanziati di circa 100 mm.

Elaborazione dei dati:

Su ognuno degli otto edifici selezionati per la prova penetrometrica è stata eseguita la procedura operativa di misura su un giunto di malta. Per ogni giunto di malta indagato sono stati mediati tre valori di profondità di penetrazione, saggio a, saggio b e saggio c. Ogni valor medio, rappresentativo della resistenza opposta dalla malta per l'intero ricorso, è stato riportato sulla curva di correlazione tra profondità di penetrazione e resistenza meccanica della malta, ottenendo in tal modo la stima della resistenza meccanica.

MISURE RESISTENZA PENETRAZIONE MALTA (RPM)

ID prova	Profondità di penetrazione mm/10 battute				RPM
Edificio 01	Saggio a	Saggio b	Saggio c	Media	
	20 mm	20 mm	12 mm	17,33 mm	0,77 MPa
Edificio 02	Saggio a	Saggio b	Saggio c	Media	
	9 mm	6 mm	7 mm	7,33 mm	2,3 MPa
Edificio 03	Saggio a	Saggio b	Saggio c	Media	
	5 mm	8 mm	12 mm	8,33 mm	2,02 MPa
Edificio 04	Saggio a	Saggio b	Saggio c	Media	
	10 mm	12 mm	9 mm	10,33 mm	1,65 MPa
Edificio 05	Saggio a	Saggio b	Saggio c	Media	
	15 mm	10 mm	12 mm	12,33 mm	1,35 MPa
Edificio 06	Saggio a	Saggio b	Saggio c	Media	
	16 mm	9 mm	12 mm	12,33 mm	1,35 MPa
Edificio 07	Saggio a	Saggio b	Saggio c	Media	
	6 mm	18 mm	9 mm	8 mm	2,15 MPa
Edificio 08	Saggio a	Saggio b	Saggio c	Media	
	10 mm	15 mm	12 mm	12,33 mm	1,35 MPa

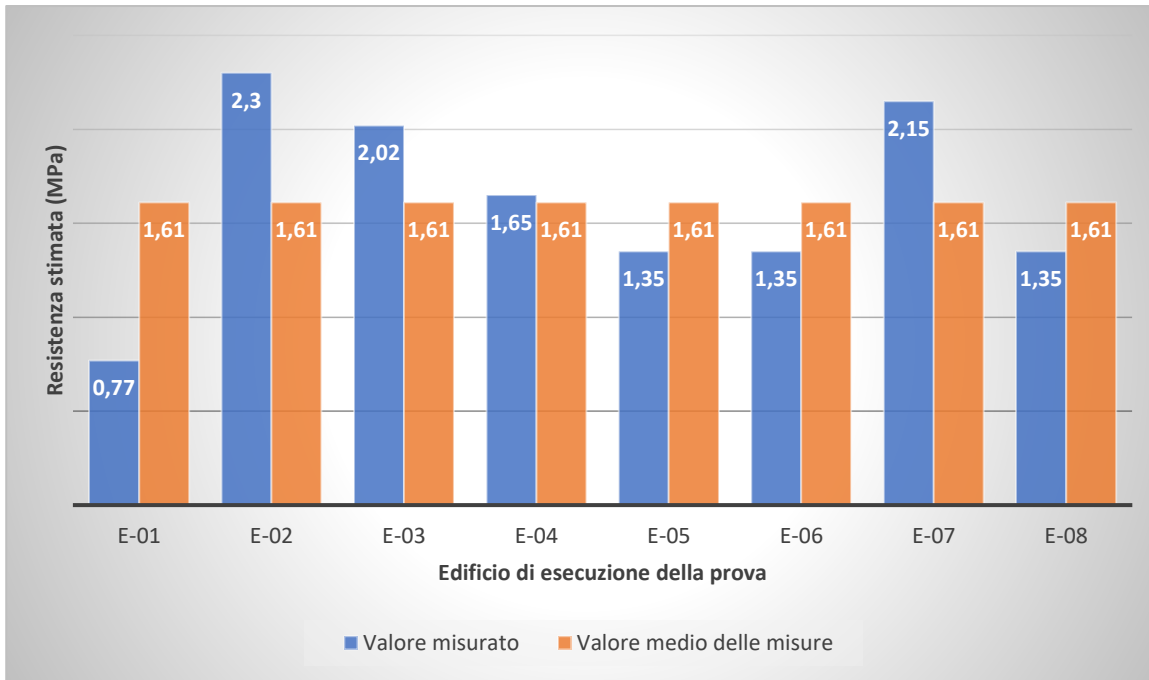


Figura 4.52: Grafico di distribuzione dei valori di resistenza misurati su ogni edificio (colonna blu) a confronto con il valor medio di tutte le misure. Il valore minimo misurato è di 0,77 MPa, il massimo è di 2,3 MPa, contro un valor medio di 1,61 MPa.

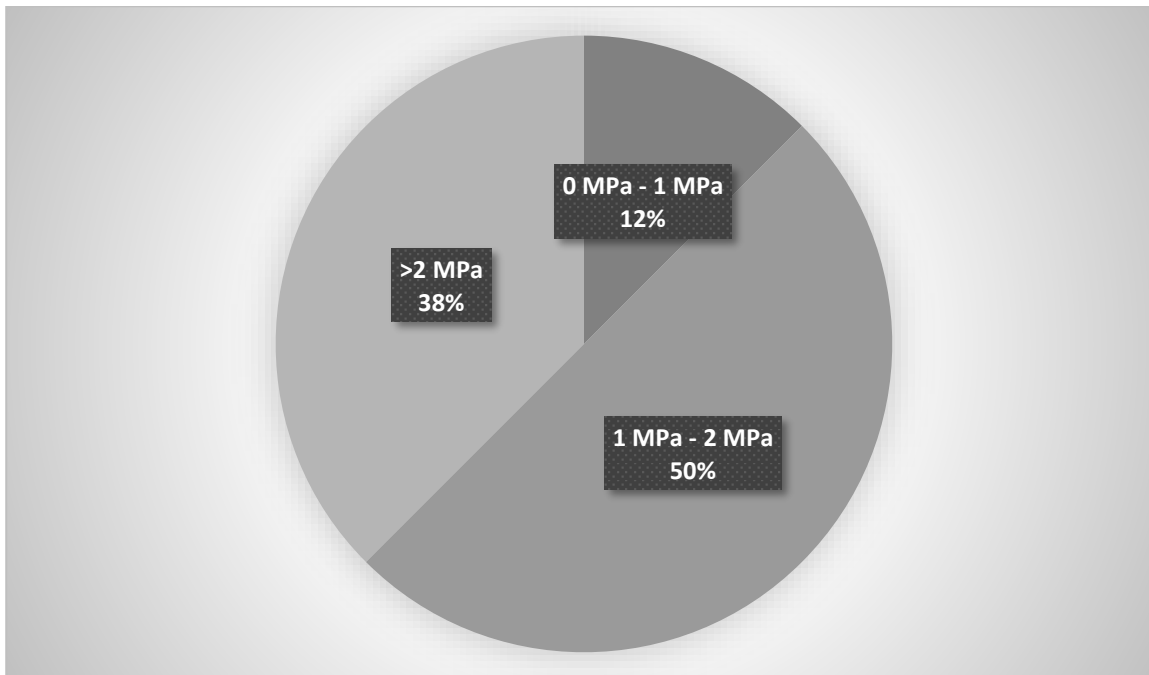


Figura 4.53: Diagramma a torta di distribuzione delle misure in tre intervalli di resistenza calibrati sui dati misurati. La maggior parte delle misure ricade nello stesso intervallo del valor medio tra le misure stesse.

CAMPIONAMENTO E INDICIZZAZIONE DEI CAMPIONI

I campioni di malta sono stati prelevati da edifici storici delle seguenti frazioni di Amatrice: Capricchia, Cornillo Nuovo, Preta, Retrosi. Il codice identificativo dei campioni è stato così ricavato: Codice della località - Lettera identificativa dell'edificio di prelievo - Eventuale numerazione progressiva se prelevati più di un campione. Un campione di materiale litico è stato prelevato dalle macerie di un edificio di Cornillo Nuovo ed ha avuto assegnato il codice identificativo secondo lo schema: Codice della località – Lettera identificativa dell'edificio di prelievo. Altri campioni di materiale litico sono stati campionati direttamente in affioramento presso Preta lungo il sentiero per la Cascata di Ortanza e sul Monte Gorzano. Il codice identificativo di questi campioni è stato così ricavato: Codice della località – Numerazione progressiva.

Codici assegnati alle località

- Capricchia C
- Cornillo Nuovo C.N.
- Monte Gorzano M.G.
- Preta P
- Preta (Cascata Ortanza) P.C.O.
- Retrosi R

Lettere identificative degli edifici

Ogni località oggetto di sopralluogo è stata mappata, assegnando ad ogni edificio analizzato a vista una lettera dell'alfabeto maiuscola. Nei casi in cui gli edifici analizzati a vista hanno superato il numero di lettere alfabetiche disponibili la codificazione è proseguita assegnando due lettere progressive. Es: AA, AB, AC, ecc.²²⁵.

ELENCO DEI CAMPIONI DI MALTA (Fig.4.55) (Effettivamente utilizzati per approfondimenti diagnostici²²⁶)

CODICE Campione	LOCALITÀ	COMUNE	Materiale
C.I.01	Capricchia	Amatrice	Malta di allettamento
C.I.02	Capricchia	Amatrice	Malta di finitura
C.N.E	Cornillo Nuovo	Amatrice	Malta di allettamento
C.N.I	Cornillo Nuovo	Amatrice	Malta di allettamento
C.N.P	Cornillo Nuovo	Amatrice	Malta di finitura
P.B.	Preta	Amatrice	Intonaco ²²⁷
R.L.01	Retrosi	Amatrice	Malta di finitura
R.L.02	Retrosi	Amatrice	Malta di allettamento

²²⁵ Tutti i campioni sono stati catalogati e fotografati propedeuticamente alla loro schedatura presso l'AStRe Lab Mat del Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura dell'Università di Roma "La Sapienza".

²²⁶ I campioni di malta prelevati sono stati in totale 14, ma solo 8 di essi sono risultati idonei all'inglobamento per l'osservazione in microscopia ottica, analisi preliminare a tutte le altre della campagna diagnostica di laboratorio.

²²⁷ Il campione P.B. è l'unico campione di rivestimento superficiale con caratteristiche diverse dalle altre malte di finitura superficiale. Le malte di superficie di tipo tradizionale, riscontrate come ricorrenti nel territorio per caratteristiche materiche, di stesura e consistenza sono state denominate malte di finitura superficiale. Per questa tipologia non si può infatti parlare di vero e proprio intonaco in quanto non è osservabile la tipica stratificazione del materiale. Le malte sono state stese in superficie in un unico strato.

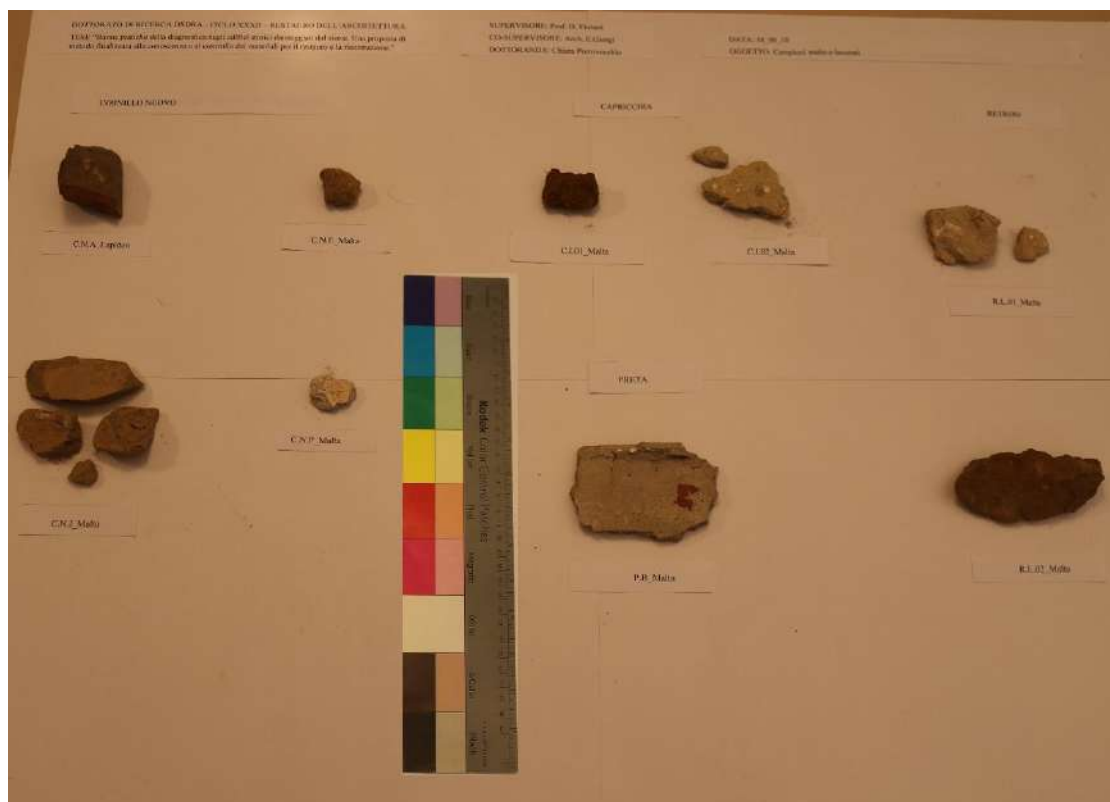


Figura 4.55: Documentazione fotografica propedeutica alla schedatura dei campioni presso AStRe Lab Mat

ELENCO DEI CAMPIONI LITICI (Fig.4.56)

CODICE Campione	LOCALITÀ	COMUNE	Materiale
P.C.O.01	Preta-Cascata Ortanza	Amatrice	Arenaria
P.C.O.02	Preta-Cascata Ortanza	Amatrice	Arenaria
P.C.O.03	Preta-Cascata Ortanza	Amatrice	Arenaria
P.C.O.04	Preta-Cascata Ortanza	Amatrice	Quarzo
M.G.05	Monte Gorzano	Amatrice	Marna
M.G.06	Monte Gorzano	Amatrice	Calcare Compatto
M.G.07	Monte Gorzano	Amatrice	Argilla
C.N.A. ²²⁸	Cornillo Nuovo	Amatrice	Arenaria

²²⁸ Il campione C.N.A. è stato fotografato e documentato assieme ai campioni di malta ed è pertanto visibile nella Fig.5. Nonostante sia un campione litico, è l'unico prelevato dalle macerie di un edificio e non in affioramento, pertanto si è scelto di unire la sua documentazione con quella dei campioni di malta, in quanto materiale 'in opera' nell'edificio.

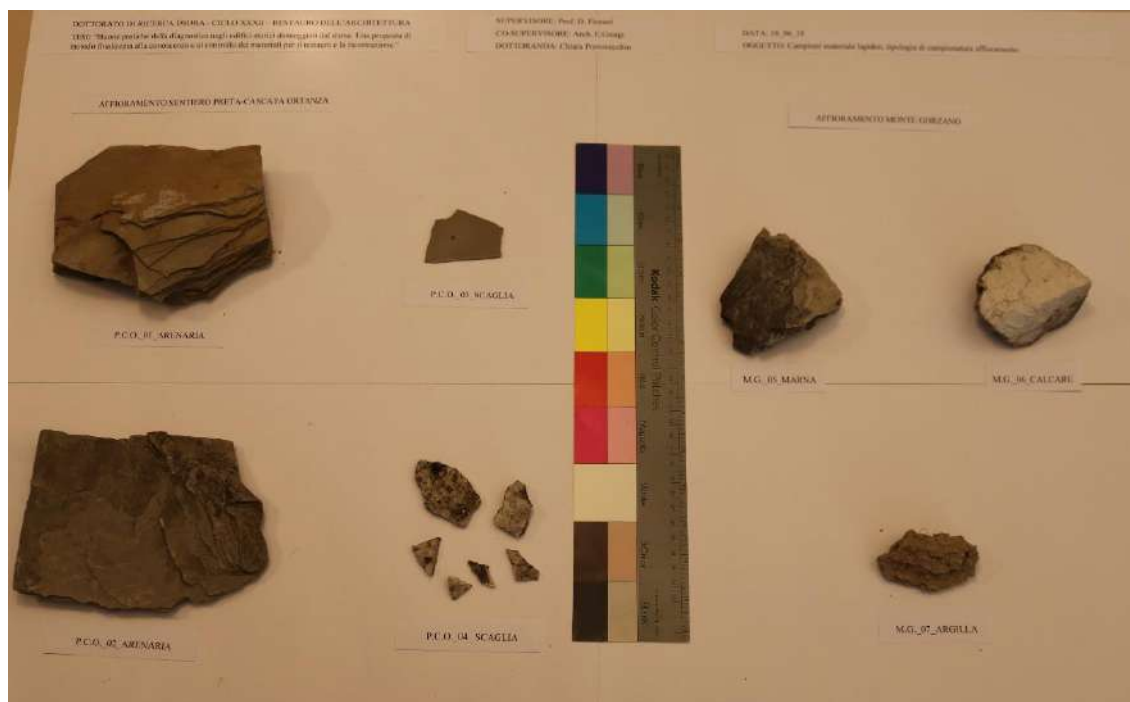


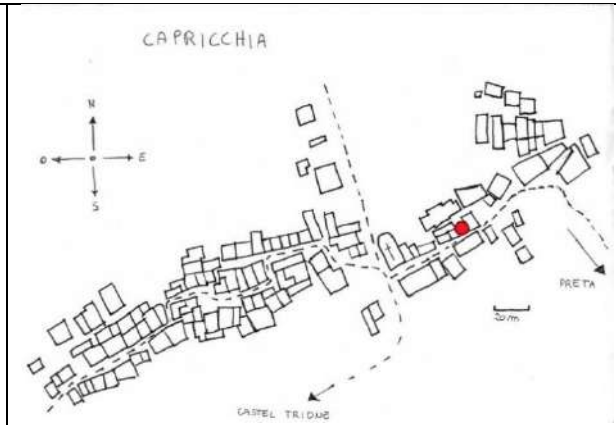
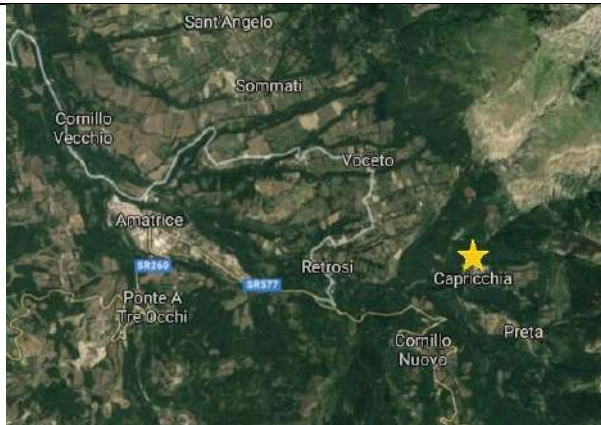
Figura 4.56: Documentazione fotografica propedeutica alla schedatura dei campioni presso AStRe Lab Mat

Seguono le schede dei campioni sopra elencati. Le schede relative alle malte ripercorrono le fasi del processo dal campionamento alla produzione della sezione lucida per l'osservazione in microscopia ottica. Vengono pertanto illustrate per ogni campione di malta:

- La località di campionamento
- La localizzazione dell'edificio su cui si è eseguito il prelievo
- La descrizione dettagliata dell'edificio e la localizzazione del punto di prelievo
- Le caratteristiche del campione al momento del prelievo
- Le caratteristiche del campione non lavorato
- Le specifiche di lavorazione al fine di ottenere la sezione lucida osservabile in microscopia ottica

Le schede relative ai campioni litici forniscono una localizzazione del prelievo e una descrizione delle caratteristiche del campione.

CODICE Campione	LOCALITÀ	COMUNE	Materiale
C.I.01	Capricchia	Amatrice	Malta di allettamento



Capricchia

Coordinate GPS: 42°37'21,6"N 13°20'23,7"E
 Altitudine 1106 s.l.m.

Edificio I

Coordinate GPS: 42°62'25,7"N 13°31'10"E



Dettagli edificio e punto di prelievo

- Tipologia: Casa a schiera
- Muratura: A vista, in bozze di pietra arenaria locale con tracce residue di finitura superficiale, probabilmente originaria.
- Cornici porte e finestre: Semplici, realizzate in pietra locale. Infissi in legno.
- Copertura: Tradizionale in legno.


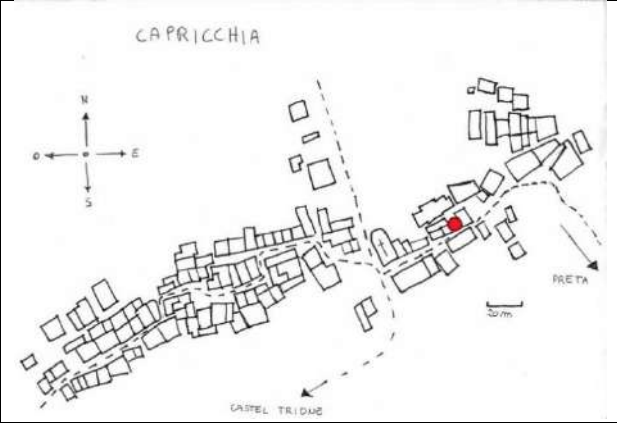




Dettaglio campionatura


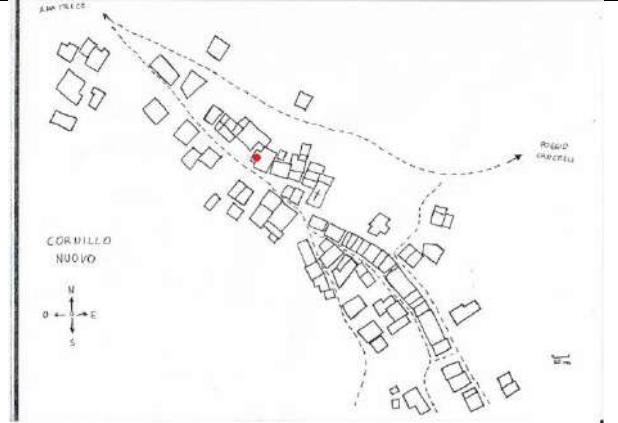




- Descrizione: Strato di allettamento tra le bozze.
- Caratteristiche della campionatura: Di facile rimozione. Consistenza terrosa e fragile, tendente allo sbriciolamento.
- Stato di conservazione della muratura: Le bozze e i giunti di allettamento appaiono molto erosi.


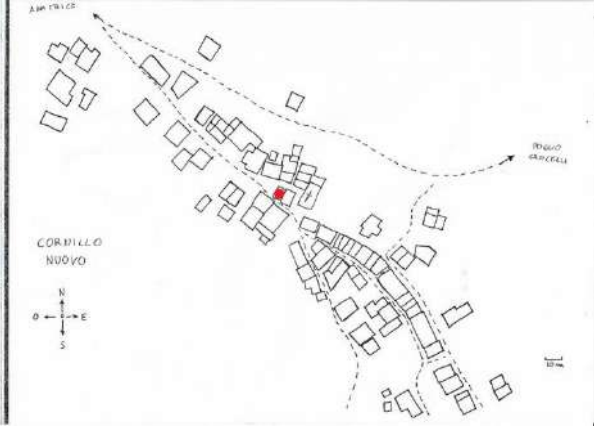






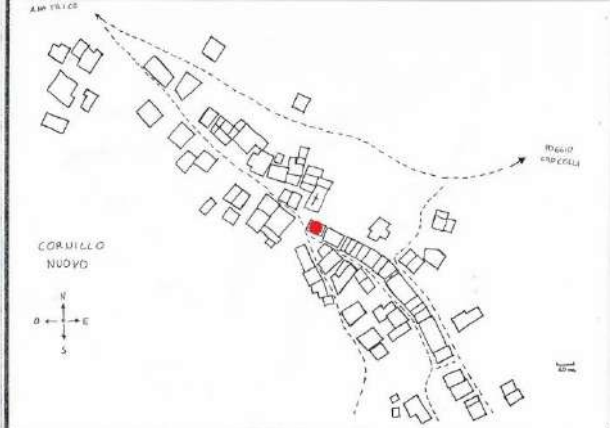



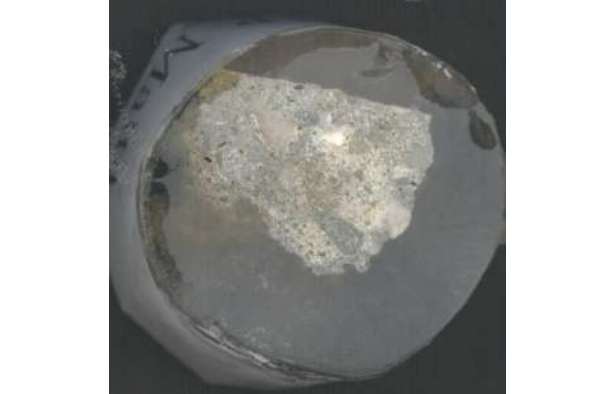
Campione di malta di allettamento, fragile, tendente allo sbriciolamento.
 Colore: Terra di Siena. Umido al tatto.

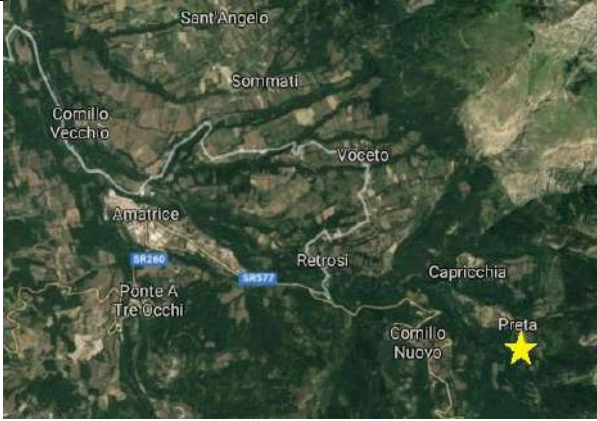
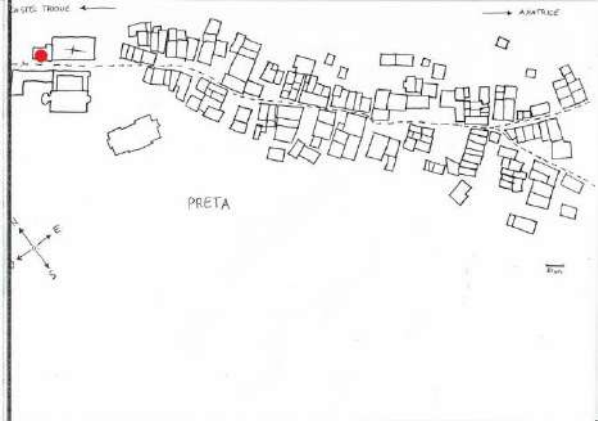




Sezione ottenuta mediante inglobamento del campione in resina cianacrilica bicomponente a freddo, taglio con troncatrice Remet con lama circolare diamantata, presso AStRe Lab Mat. Diametro pasticca 3 cm.


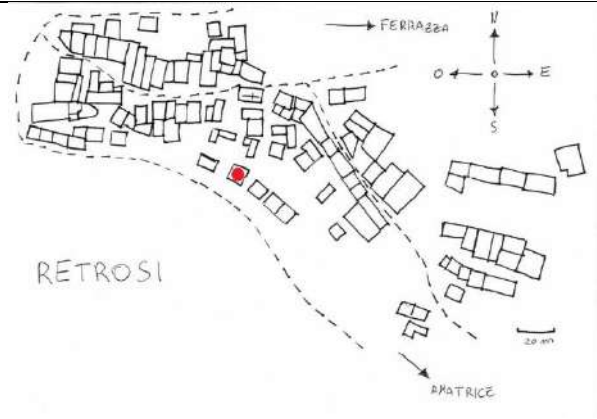




CODICE Campione	LOCALITÀ	COMUNE	Materiale
C.I.02	Capricchia	Amatrice	Malta di finitura
			
Capricchia Coordinate GPS: 42°37'21,6"N 13°20'23,7"E Altitudine 1106 s.l.m.		Edificio I Coordinate GPS: 42°62'25,7"N 13°31'10"E	
			
Dettagli edificio e punto di prelievo <ul style="list-style-type: none"> - Tipologia: Casa a schiera - Muratura: A vista, in bozze di pietra arenaria locale con tracce residue di finitura superficiale, probabilmente originaria. - Cornici porte e finestre: Semplici, realizzate in pietra locale. Infissi in legno. - Copertura: Tradizionale in legno. 		Dettaglio campionatura <ul style="list-style-type: none"> - Descrizione: Strato di finitura probabilmente originario, fortemente distaccato. - Caratteristiche della campionatura: Di facile rimozione. Consistenza fragile, tendente allo sbriciolamento. 	
 <p style="text-align: center;">C.I.02_Malta</p>			
Campione di malta di finitura superficiale, fragile, tendente allo sbriciolamento. Colore: Beige tendente al grigio. Presenza di molti granuli bianchi dall'aspetto di calcinelli. Presenza di frammenti vegetali.		Sezione ottenuta mediante inglobamento del campione in resina cianacrilica bicomponente a freddo, taglio con troncatrice Remet con lama circolare diamantata, presso AStRe Lab Mat. Diametro pasticca 3 cm.	

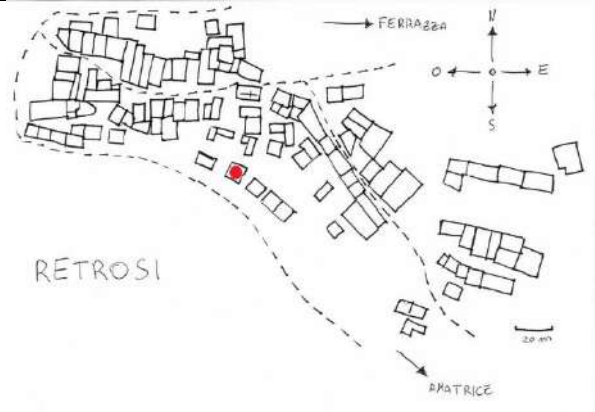
CODICE Campione	LOCALITÀ	COMUNE	Materiale
C.N.E	Cornillo Nuovo	Amatrice	Malta di allettamento
			
Cornillo Nuovo Coordinate GPS: 42°61'42,5"N 13°33'21,2"E Altitudine 1134 s.l.m.		Edificio E Coordinate GPS: 42°61'45,6"N 13°33'16,6"E	
			
Dettagli edificio e punto di prelievo <ul style="list-style-type: none"> - Tipologia: Casa a schiera - Muratura: A vista, in bozze di pietra arenaria locale con tracce residue di finitura superficiale, probabilmente originaria. - Cornici porte e finestre: Semplici, realizzate in pietra locale. Infissi in legno. - Copertura: Tradizionale in legno. 		Dettaglio campionatura <ul style="list-style-type: none"> - Descrizione: Strato di allettamento. - Caratteristiche della campionatura: Di facile rimozione. Consistenza fragile, tendente allo sbriciolamento. - Stato di conservazione della muratura: La muratura è attraversata da profonde lesioni dovute all'azione del sisma. Si conservano tracce di finitura originaria. 	
			
Campione di malta di allettamento, fragile, tendente allo sbriciolamento. Colore: Beige.		Sezione ottenuta mediante inglobamento del campione in resina cianacrilica bicomponente a freddo, taglio con troncatrice Remet con lama circolare diamantata, presso AStRe Lab Mat. Diametro pasticca 3 cm.	

CODICE Campione	LOCALITÀ	COMUNE	Materiale
C.N.I	Cornillo Nuovo	Amatrice	Malta di allettamento
			
Cornillo Nuovo Coordinate GPS: 42°61'42,5"N 13°33'21,2"E Altitudine 1134 s.l.m.		Edificio I Coordinate GPS: 42°61'43,4"N 13°33'19,3"E	
			
Dettagli edificio e punto di prelievo <ul style="list-style-type: none"> - Tipologia: Casa isolata - Muratura: : Non vista, indagabile dall'area decorticata per saggio strutturale, mista in bozze di arenaria locale e laterizi. - Cornici porte e finestre: Semplici, realizzate in pietra locale. Infissi in legno. - Copertura: Sostituita in c.a. 		Dettaglio campionatura <ul style="list-style-type: none"> - Descrizione: Strato di allettamento. - Caratteristiche della campionatura: Di facile rimozione. Consistenza fragile, tendente allo sbriciolamento. - Stato di conservazione della muratura: - Nell'area del saggio i giunti appaiono in alcuni punti mancanti, c'è una mancanza anche di due elementi litici. Il resto della muratura non è ispezionabile in quanto l'edificio è intonacato. 	
			
Campione di malta di allettamento, fragile, tendente allo sbriciolamento. Colore: Beige.		Sezione ottenuta mediante inglobamento del campione in resina cianacrilica bicomponente a freddo, taglio con troncatrice Remet con lama circolare diamantata, presso AStRe Lab Mat. Diametro pasticca 3 cm.	

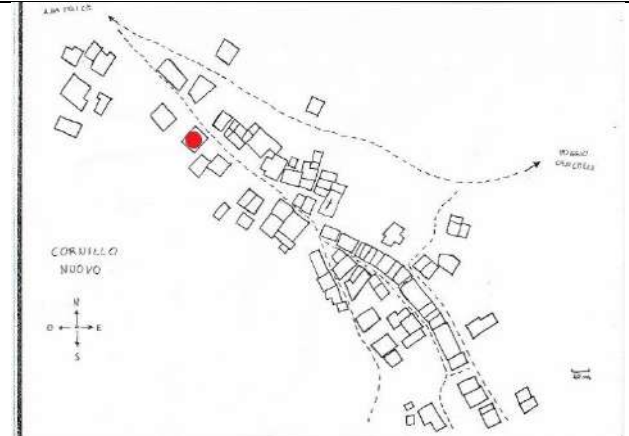
CODICE Campione	LOCALITÀ	COMUNE	Materiale
C.N.P	Cornillo Nuovo	Amatrice	Malta di finitura
			
Cornillo Nuovo Coordinate GPS: 42°61'42,5"N 13°33'21,2"E Altitudine 1134 s.l.m.		Edificio P Coordinate GPS: 42°61'41,7"N 13°33'21,4"E	
			
Dettagli edificio e punto di prelievo <ul style="list-style-type: none"> - Tipologia: Casa isolata - Muratura: : Parzialmente a vista, in bozze di arenaria locale. Parzialmente intonacata, conserva in alcuni punti tracce della finitura originaria. - Cornici porte e finestre: Semplici, realizzate in pietra locale. Infissi in legno. - Copertura: Sostituita in legno. 		Dettaglio campionatura <ul style="list-style-type: none"> - Descrizione: Strato di finitura superficiale. - Caratteristiche della campionatura: Di facile rimozione. Consistenza dura ma fragile.. - Stato di conservazione dello strato di finitura: Nel punto della campionatura risulta molto distaccato dal substrato. 	
			
Campione di malta di finitura superficiale, con sovrastante strato di intonachino e tinta colorata. Colore: Bianco/grigio. Tinta sui toni pesca.		Sezione ottenuta mediante inglobamento del campione in resina cianacrilica bicomponente a freddo, taglio con troncatrice Remet con lama circolare diamantata, presso AStRe Lab Mat. Diametro pasticca 3 cm.	

CODICE Campione	LOCALITÀ	COMUNE	Materiale
P.B.	Preta	Amatrice	Malta di allettamento
			
Preta Coordinate GPS: 42°61'68,4"N 13°34'56,9"E Altitudine 1194 s.l.m.		Edificio B Coordinate GPS: 42°61'75"N 13°34'47,4"E	
			
Dettagli edificio e punto di prelievo <ul style="list-style-type: none"> - Tipologia: Palazzetto adiacente alla Chiesa. - Muratura: Non a vista. - Cornici porte e finestre: Molto elaborate, con elementi decorativi in pietra locale, in pietra artificiale, stucchi e laterizi. - Copertura: Leggera, in legno. 		Dettaglio campionatura <ul style="list-style-type: none"> - Descrizione: Strato di intonaco. - Caratteristiche della campionatura: Di facile rimozione. Consistenza dura e resistente. - Stato di conservazione dell'intonaco: L'intonaco è in buono stato di conservazione sulla quasi totalità della superficie della facciata. Si presenta del tutto distaccato nel punto di prelievo del campione. 	
			
Campione di intonaco, a legante cementizio in miscela con calce, di spessore costante di 1,5 cm. Sono ben visibili 3 strati. Colore: Grigio. Intonachino colorato sui toni dell'ocra.		Sezione ottenuta mediante inglobamento del campione in resina cianacrilica bicomponente a freddo, taglio con troncatrice Remet con lama circolare diamantata, presso AStRe Lab Mat. Diametro psticca 3 cm.	

CODICE Campione	LOCALITÀ	COMUNE	Materiale
R.L.01	Retrosi	Amatrice	Malta di finitura
			
<p>Retrosi Coordinate GPS: 42°62'34,2"N 13°31'76,3"E Altitudine 1000 s.l.m.</p>		<p>Edificio L Coordinate GPS: 42°62'30,5"N 13°31'78,9"E</p>	
			
<p>Dettagli edificio e punto di prelievo</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tipologia: Casa isolata. - Muratura: A vista in bozze di arenaria locale. - Cornici porte e finestre: Semplici in arenaria locale. - Copertura: Ricostruita in c.a. 		<p>Dettaglio campionatura</p> <ul style="list-style-type: none"> - Descrizione: Strato di finitura superficiale. - Caratteristiche della campionatura: Di facile rimozione. Consistenza fragile, tendente allo sbriciolamento - Stato di conservazione della finitura superficiale: La finitura è distribuita sulla maggior parte delle superfici dell'edificio. 	
			
<p>Campione di malta di finitura superficiale, fragile, tendente allo sbriciolamento. Colore: Beige tendente al grigio. Stratificazioni irregolari dovute alla probabile presenza di terra/argilla. Presenza di molti granuli bianchi dall'aspetto di calcinelli.</p>		<p>Sezione ottenuta mediante inglobamento del campione in resina cianacrilica bicomponente a freddo, taglio con troncatrice Remet con lama circolare diamantata, presso AStRe Lab Mat. Diametro psticca 3 cm.</p>	

CODICE Campione	LOCALITÀ	COMUNE	Materiale
R.L.02	Retrosi	Amatrice	Malta di allettamento
			
Retrosi Coordinate GPS: 42°62'34,2"N 13°31'76,3"E Altitudine 1000 s.l.m.		Edificio L Coordinate GPS: 42°62'30,5"N 13°31'78,9"E	
			
Dettagli edificio e punto di prelievo <ul style="list-style-type: none"> - Tipologia: Casa isolata. - Muratura: A vista in bozze di arenaria locale. - Cornici porte e finestre: Semplici in arenaria locale. - Copertura: Ricostruita in c.a. 		Dettaglio campionatura <ul style="list-style-type: none"> - Descrizione: Strato di allettamento. - Caratteristiche della campionatura Di facile rimozione. Consistenza apparentemente terrosa e fragile, tendente allo sbriciolamento. Riscontrata presenza di una larva nel momento dell'estrazione del campione - Stato di conservazione della muratura: . I giunti risultano molto erosi nelle zone non più protette da finitura superficiale. 	
			
Campione di malta di allettamento, fragile, tendente allo sbriciolamento. Colore: Terra di Siena. Umido al tatto.		Sezione ottenuta mediante inglobamento del campione in resina cianacrilica bicomponente a freddo, taglio con troncatrice Remet con lama circolare diamantata, presso AStRe Lab Mat. Diametro psticca 3 cm.	

CODICE Campione	LOCALITÀ	COMUNE	Materiale
C.N.A.	Cornillo Nuovo	Amatrice	Arenaria



Cornillo Nuovo

Coordinate GPS: 42°61'42,5"N 13°33'21,2"E
 Altitudine 1134 s.l.m.

Edificio A

Coordinate GPS: 42°61'45,3"N 13°33'12,6"E

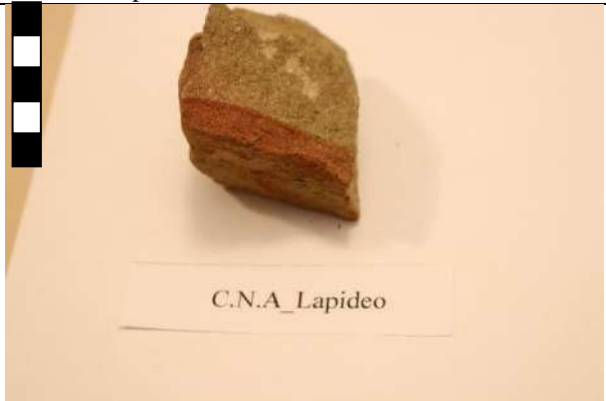


Dettagli edificio e punto di prelievo

- Tipologia: Casa isolata
- Muratura: A vista, in bozze di pietra arenaria locale con integrazione in muratura mista in bozze di arenaria e ricorsi in laterizio-
- Cornici porte e finestre: Semplici, realizzate in pietra locale.
- Copertura: Ricostruita in c.a.

Dettaglio campionatura







- Descrizione: Frammento di pietra arenaria selezionato da macerie.












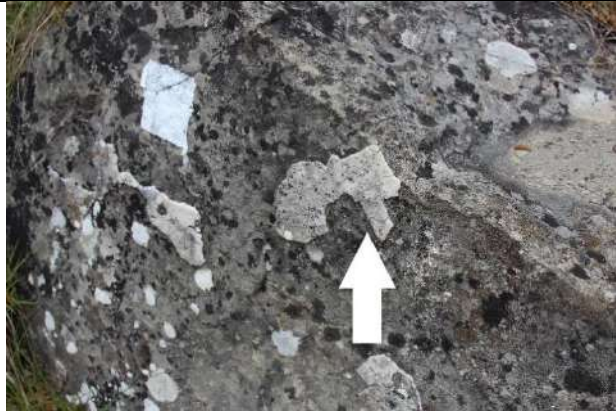


Campione di arenaria. Presenta una doppia colorazione sabbia e rosso, probabile presenza di minerali ferrosi ossidati.







Dettaglio doppia colorazione del litotipo.







CODICE Campione	LOCALITÀ	COMUNE	Materiale
P.C.O.01	Preta (Cascata Ortanza)	Amatrice	Arenaria
			
Preta Coordinate GPS: 42°61'68,4"N 13°34'56,9"E Altitudine 1194 s.l.m.		Sentiero Cascata Ortanza Coordinate GPS: 42°60'84,2"N 13°35'00,6"E	
			
Dettagli affioramento e punto di prelievo Affioramento di Flysch arenaceo laminare.		Dettaglio campionatura Il Flysch si spacca secondo linee di frattura ortogonali tra loro.	
			
Campione di arenaria da Flysch laminare stratificato.		Dettaglio della struttura a strati del campione.	







CODICE Campione	LOCALITÀ	COMUNE	Materiale
P.C.O.02	Preta (Cascata Ortanza)	Amatrice	Arenaria
			
Preta Coordinate GPS: 42°61'68,4"N 13°34'56,9"E Altitudine 1194 s.l.m.		Sentiero Cascata Ortanza Coordinate GPS: 42°60'84,2"N 13°35'00,6"E	
			
Dettagli affioramento e punto di prelievo Affioramento di Flysch arenaceo laminare.		Dettaglio campionatura Il Flysh si spacca secondo linee di frattura ortogonali tra loro.	
			
Campione di arenaria da Flysch laminare stratificato.		Dettaglio della struttura a strati del campione.	

CODICE Campione	LOCALITÀ	COMUNE	Materiale
P.C.O.03	Preta (Cascata Ortanza)	Amatrice	Arenaria
			
Preta Coordinate GPS: 42°61'68,4"N 13°34'56,9"E Altitudine 1194 s.l.m.		Sentiero Cascata Ortanza Coordinate GPS: 42°60'84,2"N 13°35'00,6"E	
			
Dettagli affioramento e punto di prelievo Affioramento di Arenaria in banchi, possibile antico fronte di cava.		Dettaglio campionatura Il campione si è distaccato in forma di scaglia sottile.	
			
Campione scaglia di litotipo arenaceo.		Dettaglio del campione.	

CODICE Campione	LOCALITÀ	COMUNE	Materiale
P.C.O.04	Preta (Cascata Ortanza)	Amatrice	Quarzo
			
Preta Coordinate GPS: 42°61'68,4"N 13°34'56,9"E Altitudine 1194 s.l.m.		Sentiero Cascata Ortanza Coordinate GPS: 42°60'84,2"N 13°35'00,6"E	
			
Dettagli affioramento e punto di prelievo Affioramento di Arenaria in banchi, possibile antico fronte di cava.		Dettaglio campionatura Distacco di uno strato di concrezione quarzosa del litotipo arenaceo.	
			
Campione scaglie di concrezione quarzosa.		Dettaglio del campione.	

CODICE Campione	LOCALITÀ	COMUNE	Materiale
M.G.05	Monte Gorzano	Amatrice	Marna
			
Monte gorzano Coordinate GPS: 42°61'22,4"N 13°40'05,5"E Altitudine vetta 2458 s.l.m.		Località Sacro Cuore Coordinate GPS: 42°62'59"N 13°35'83,7"E	
			
Dettagli affioramento e punto di prelievo Affioramento di Marna a strati.	Dettaglio campionatura		
			
Campione di marna	Dettaglio stratificazioni del campione.		

CODICE Campione	LOCALITÀ	COMUNE	Materiale
M.G.06	Monte Gorzano	Amatrice	Calcere Compatto
			
<p>Monte gorzano Coordinate GPS: 42°61'22,4"N 13°40'05,5"E Altitudine vetta 2458 s.l.m.</p>		<p>Sentiero Cascata delle Barche Coordinate GPS: 42°62'98,33"N 13°35'98,3"E</p>	
			
<p>Dettagli affioramento e punto di prelievo Affioramento roccioso di Calcere Compatto.</p>		<p>Dettaglio campionatura</p>	
			
<p>Campione di Calcere Compatto</p>		<p>Dettaglio del campione.</p>	

CODICE Campione	LOCALITÀ	COMUNE	Materiale
M.G.07	Monte Gorzano	Amatrice	Marna
			
Monte gorzano Coordinate GPS: 42°61'22,4"N 13°40'05,5"E Altitudine vetta 2458 s.l.m.	Località Sacro Cuore Coordinate GPS: 42°62'59"N 13°35'83,7"E		
			
Dettagli affioramento e punto di prelievo Deposito affiorante di argilla	Dettaglio campionatura		
			
Campione di argilla	Dettaglio stratificazioni del campione.		

INDAGINI ALLO STEREOMICROSCOPIO (M.O.)²²⁹

Tutti i campioni di malta sono stati studiati, presso AStRe Lab Mat, al microscopio ottico stereo Euromex 10-70X, sia tal quali che in sezione lucida²³⁰. Si è inoltre eseguito per ogni campione il saggio microanalitico con soluzione acquosa di HCl 3M, su frazione non inglobata in resina, al fine di verificare la presenza o meno di CaCO₃ quale componente del legante.

Seguono tre tabelle riassuntive dei risultati delle indagini:

- TAB.4.1_ Risultati indagine M.O. sulle malte di allettamento
- TAB.4.2_ Risultati indagine M.O. sulle malte di finitura superficiale
- TAB.4.3_ Risultati saggi microanalitici

TABELLA 4.1	
INDAGINE IN MICROSCOPIA OTTICA: MALTE DI ALLETTAMENTO STORICHE	
Caratteristiche generali	Malte a legante argilloso e aggregato sabbioso presente in rilevante quantità. Consistenza fragile, con numerose fessurazioni.
Legante	Argilla, calce aerea presente in forma di granuli isolati in un solo campione.
Aggregati	Sabbia quarzifera, fillosilicati, miche, ossidi di ferro.
Granulometria	Molto fine.
Consistenza	Fragile, struttura molto porosa, presenza di vuoti.

TABELLA 4.2	
INDAGINE IN MICROSCOPIA OTTICA: MALTE DI FINITURA STORICHE	
Caratteristiche generali	Malte a base di calce aerea e aggregati di tipo sabbioso ben classati. Presentano difetti del legante in forma di grandi calcinelli.
Legante	Calce aerea, talvolta in miscela con frazioni di tipo argilloso.
Aggregati	Sabbia quarzifera/micacea.
Granulometria	Molto fine.
Aggiunte	Fibre vegetali, pula di grano.
Consistenza	Fragile, struttura molto porosa, presenza di vuoti, presenza di numerosi calcinelli.

²²⁹ Per approfondimenti sulla tecnica diagnostica e sulla descrizione petrografica di una malta vedi p.46

²³⁰ L'allestimento delle sezioni lucide è stato eseguito in base alle indicazioni della Normativa Tecnica NORMAL 14/83 – Sezioni sottili e lucide di materiali lapidei: tecnica di allestimento.

La lettura delle caratteristiche delle malte è stata eseguita in base alle indicazioni della Normativa Tecnica UNI-NORMAL 11176:2006 – Descrizione petrografica di una malta.

TABELLA 4.3		
SAGGIO MICROANALITICO - REAZIONE CHIMICA TESTATA		
$\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2\uparrow$		
EFFETTO OSSERVATO IN MICROSCOPIA OTTICA		
Sviluppo di effervescenza ($\text{CO}_2\uparrow$) in presenza di CaCO_3 nel campione.		
Campione	Funzione	Esito test
C.I.01	Allettamento	Negativo
C.I.02	Finitura	Positivo
C.N.E	Allettamento	Negativo
C.N.I	Allettamento	Negativo
C.N.P	Finitura	Positivo
P.B	Finitura	Positivo
R.L.01	Finitura	Positivo
R.L.02	Allettamento	Negativo

Per ogni campione sono state realizzate schede illustrative delle indagini in M.O. che raccolgono le immagini commentate del campione non inglobato, della sezione lucida e del saggio microanalitico.



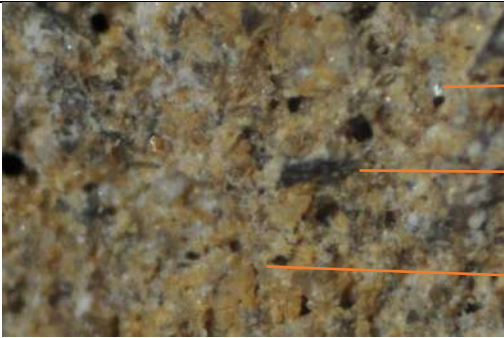
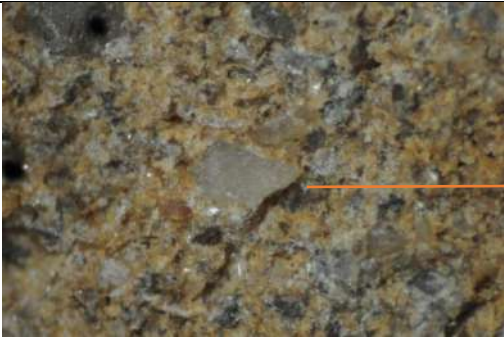
Seguono le schede relative alle indagini in M.O. per i seguenti campioni:


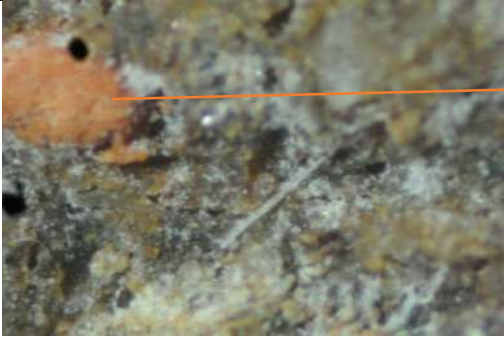

Malte di allettamento



- C.I.01
- C.N.E.
- C.N.I
- R.L.02





Malte di finitura superficiale:






- C.I.02
- C.N.P.
- P.B.
- R.L.0




Campione C.I.01	Malta di allettamento
Microscopio Ottico - Campione non lavorato	Descrizione pre-diagnostica
	Ingrandimento – 10X Malta a legante argilloso e aggregato sabbioso presente in rilevante quantità. Consistenza fragile, con numerose fessurazioni.
Microscopio Ottico – Sezione lucida	Lettura Sezione lucida
	Ingrandimento – 10X <ul style="list-style-type: none"> - Legante: argilla - Aggregati: sabbia quarzifera, fillosilicati, miche. - Granulometria: molto fine. - Consistenza: fragile, struttura molto porosa, presenza di vuoti.
Dettaglio_01	Ingrandimento – 20X
	Miche Fillosilicati Struttura molto porosa
Dettaglio_02	Ingrandimento – 20X
	Cristallo di Quarzo
ESITO SAGGIO MICROANALITICO	NEGATIVO






Campione C.N.E.	Malta di allettamento
Microscopio Ottico – Sezione lucida	Lettura Sezione lucida
	<p>Ingrandimento – 20X</p> <ul style="list-style-type: none"> - Legante: argilla - Aggregati: sabbia quarzifera, fillosilicati, miche, ossidi del ferro. - Granulometria: molto fine. - Consistenza: fragile, struttura molto porosa, presenza di vuoti.
Dettaglio_01	Ingrandimento – 40X
	<p style="text-align: right;">→ Ossido di Ferro</p>
Dettaglio_02	Ingrandimento – 20X
	<p style="text-align: right;">→ Cristallo di Quarzo</p>
ESITO SAGGIO MICROANALITICO	NEGATIVO



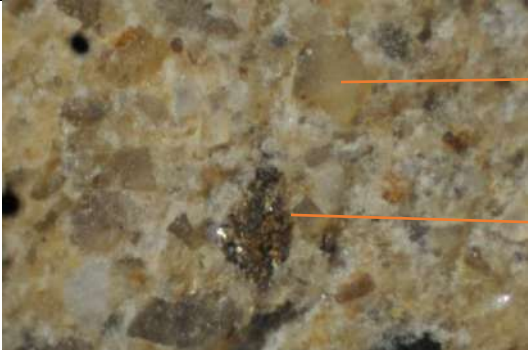

Campione C.N.I.	Malta di allettamento
Microscopio Ottico - Campione non lavorato	Descrizione pre-diagnostica
	Ingrandimento – 10X Malta a legante argilloso e aggregato sabbioso molto fine. Consistenza fragile, con numerose fessurazioni.
Microscopio Ottico – Sezione lucida	Lettura Sezione lucida
	Ingrandimento – 20X <ul style="list-style-type: none"> - Legante: argilla - Aggregati: sabbia quarzifera, fillosilicati, miche. - Granulometria: molto fine. - Consistenza: fragile, struttura molto porosa, presenza di vuoti
ESITO SAGGIO MICROANALITICO	NEGATIVO

Campione R.L.02	Malta di allettamento
Microscopio Ottico - Campione non lavorato	Descrizione pre-diagnostica
	Ingrandimento – 10X Malta a legante argilloso miscelato con una scarsa quantità di calce aerea e aggregato sabbioso presente in rilevante quantità. Consistenza fragile.
Microscopio Ottico – Sezione lucida	Lettura Sezione lucida
	Ingrandimento – 10X <ul style="list-style-type: none"> - Legante: argilla e calce aerea in minima parte. - Aggregati: sabbia quarzifera, fillosilicati, miche, minerali ferrosi. - Granulometria: molto fine. - Aggiunte: fibre naturali. - Consistenza: fragile.
Dettaglio_01	Ingrandimento – 40X
	<p>→ Fillosilicato</p> <p>→ Mica Bianca</p>
Dettaglio_02	Ingrandimento – 50X
	→ Grumo di Calce
ESITO SAGGIO MICROANALITICO	NEGATIVO

Campione C.I.02	Malta di finitura	
Microscopio Ottico - Campione non lavorato	Descrizione pre-diagnostica	
	<p>Ingrandimento – 20X</p> <p>Malta a base di calce aerea, presenta difetti del legante in forma di grandi calcinelli e aggregati di tipo sabbioso.</p>	
Microscopio Ottico – Sezione lucida	Lettura Sezione lucida	
	<p>Ingrandimento – 30X</p> <ul style="list-style-type: none"> - Legante: calce aerea - Aggregati: sabbia quarzifera. - Granulometria: molto fine. - Aggiunte: fibre vegetali, pula di grano. - Consistenza: fragile, struttura molto porosa, presenza di vuoti, presenza di numerosi calcinelli. 	
Dettaglio_01	Ingrandimento – 30X	
		Pula di grano
Dettaglio_02	Ingrandimento – 50X	
		Fibra vegetale
ESITO SAGGIO MICROANALITICO	POSITIVO	

Campione C.N.P.	Malta di finitura	
Microscopio Ottico - Campione non lavorato	Descrizione pre-diagnostica	
	<p>Ingrandimento – 30X</p> <p>Malta a base di calce aerea e aggregato sabbioso. Consistenza fragile. Apprezzabili segni di lavorazione superficiale: incisioni parallele ravvicinate. Apprezzabili residui di tinta superficiale.</p>	
Microscopio Ottico – Sezione lucida	Lettura Sezione lucida	
	<p>Ingrandimento – 50X</p> <ul style="list-style-type: none"> - Legante: calce aerea. - Aggregati: sabbia quarzifera, ben classata. - Granulometria: molto fine, morfologia dei grani sub-angolosa. - Consistenza: fragile, ma compatta. 	
ESITO SAGGIO MICROANALITICO	POSITIVO	

Campione P.B.	Malta di finitura	
Microscopio Ottico - Campione non lavorato	Descrizione pre-diagnostica	
	<p>Ingrandimento – 30X</p> <p>Intonaco a base di legante cementizio in miscela con calce e aggregato sabbioso. Consistenza dura e resistente. Apprezzabili segni di lavorazione superficiale: incisioni parallele ravvicinate. Apprezzabili residui di tinta superficiale.</p>	
Microscopio Ottico – Sezione lucida	Lettura Sezione lucida	
	<p>Ingrandimento – 40X</p> <ul style="list-style-type: none"> - Legante: cemento e calce aerea. - Aggregati: sabbia quarzifera. - Granulometria: molto poco classata, morfologia dei grani sub-angolosa. - Consistenza: resistente, ma con zone localizzate a maggiore porosità. Rilevante presenza di calcinelli. 	
Dettaglio_01	Ingrandimento – 20X	
	 <p style="text-align: right;">Calcinello</p>	
ESITO SAGGIO MICROANALITICO	POSITIVO	



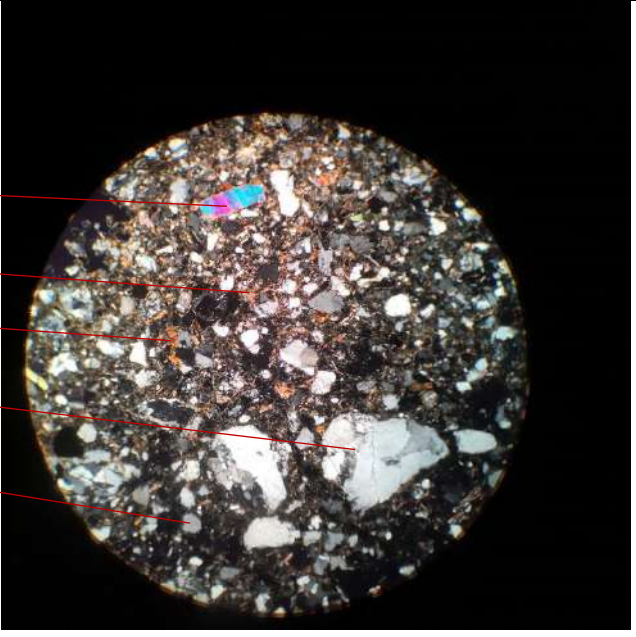
Campione R.L.01	Malta di finitura	
Microscopio Ottico - Campione non lavorato	Descrizione pre-diagnostica	
	<p>Ingrandimento – 50X</p> <p>Malta a base di calce aerea, presenta difetti del legante in forma di grandi calcinelli, aggregati di tipo sabbioso e aggiunta di fibre naturali.</p>	
Microscopio Ottico – Sezione lucida	Lettura Sezione lucida	
	<p>Ingrandimento – 20X</p> <ul style="list-style-type: none"> - Legante: calce aerea - Aggregati: sabbia quarzifera/micacea, ben classati. - Granulometria: molto fine. - Aggiunte: fibre vegetali. - Consistenza: fragile, struttura molto porosa, presenza di fessurazioni, presenza di numerosi calcinelli. 	
Dettaglio_01	Ingrandimento – 50X	
	<p>→ Cristallo di Quarzo</p> <p>→ Mica</p>	
ESITO SAGGIO MICROANALITICO	POSITIVO	

INDAGINI IN SEZIONE SOTTILE

Come da prassi, in seguito alle indagini in sezione lucida si è proceduto alla produzione di sezione sottili per l'osservazione e la caratterizzazione mineralogico al microscopio ottico petrografico. Tuttavia, la natura e la fragilità delle malte in esame, dovuta anche allo stato di conservazione precario dei materiali, non hanno permesso la buona riuscita del taglio e assottigliamento per tutte le sezioni, in quanto la maggior parte di esse è andata perduta durante le operazioni di preparativa dei campioni. Le due sezioni meglio riuscite e quindi leggibili in microscopia ottica petrografica sono state quelle ricavate dal campione C.I.01, malta di allettamento e R.L.02, malta di finitura superficiale²³¹. La lettura delle due sezioni ha confermato la composizione osservata in sezione lucida apportando una più precisa definizione dei minerali presenti nei campioni, alcuni dei quali confermati anche dalle analisi XRD.

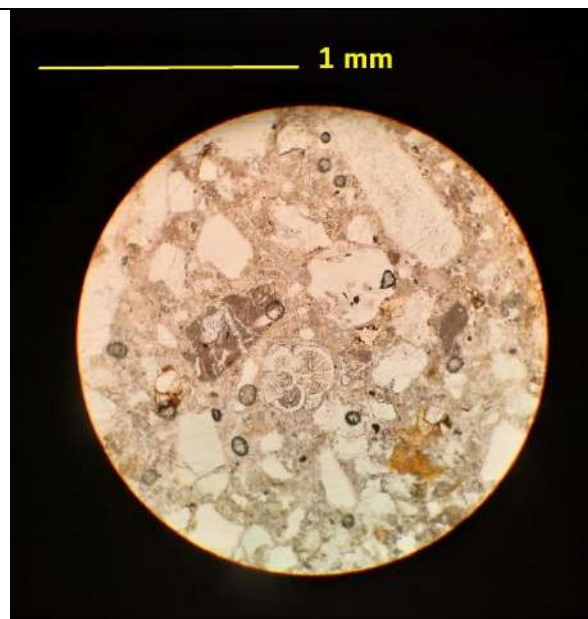
Seguono le schede relative alle indagini in sezione sottile per i due campioni analizzati.

²³¹ Le sezioni sottili sono state prodotte e analizzate presso il “Laboratorio Sezioni Sottili” del Dipartimento di Scienze della Terra di Sapienza Università di Roma. Si ringraziano la Dr.sa Aida Conte e il Dr. Domenico Mannetta per il supporto tecnico e scientifico.

<p>CAMPIONE C.I.01 (malta di allettamento)</p>	<p>Sezione sottile su vetrino non coperta. Analisi in microscopia ottica petrografica (microscopio Zeiss Axioskop 40 pol). Immagine catturata con un solo polarizzatore.</p>
	
<p>Lettura: il materiale a matrice (legante) argillosa contiene numerosi granuli di quarzo, feldspati e fillosilicati.</p> <p>Muscovite ←</p> <p>Biotite ←</p> <p>Clorite ←</p> <p>Quarzo ←</p> <p>Feldspato ←</p>	<p>Stessa inquadratura catturata a polarizzatori incrociati.</p> 

CAMPIONE R.L.01 (malta di finitura superficiale)

Sezione sottile su vetrino non coperta. Analisi in microscopia ottica petrografica (microscopio Zeiss Axioskop 40 pol). Immagine catturata con un solo polarizzatore.



Lettura: il materiale a matrice (legante) carbonatica contiene numerosi granuli di quarzo, feldspati, fillosilicati e frammenti calcarei fossiliferi (a foraminiferi) a conferma dell'uso di calce nell'impasto.

Stessa inquadratura catturata a polarizzatori incrociati.

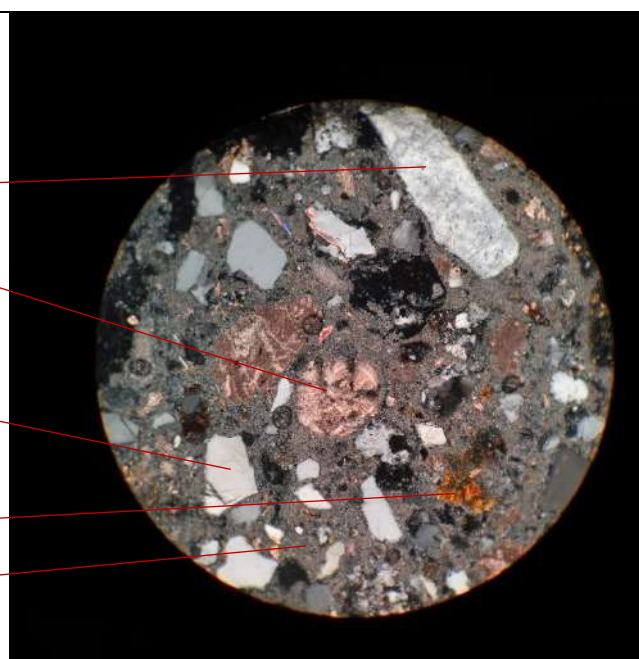
Feldspato

Clasto calcareo fossilifero a foraminiferi

Quarzo

Biotite

Matrice carbonatica



ANALISI XRD²³²

Le analisi sono state condotte sia su campioni litici che su campioni di malta, nello specifico:

Campioni litici analizzati:

- C.N.A.
- P.C.O.
- M.G.06

Campioni di malta:

- C.I.02 (Finitura superficiale)
- R.L.01 (Finitura superficiale)
- R.L.02 (Malta di allettamento)
- C.N.I. (Malta di allettamento)

Le analisi sono state effettuate presso il Dipartimento di Scienze della Terra di Sapienza Università di Roma, con Diffrattometro Bruker D5000, radiazione $\text{CuK}\alpha$, a 40 kV e 40 mA, step size $0,02^\circ$ per 2 secondi, campione in polvere. Si è scelto di adottare la tecnica XRD al fine di confrontare la composizione mineralogica delle malte con la composizione mineralogica dei litotipi, al fine di stabilire la relazione fra produzione dei materiali edilizi tradizionali e risorse territoriali.

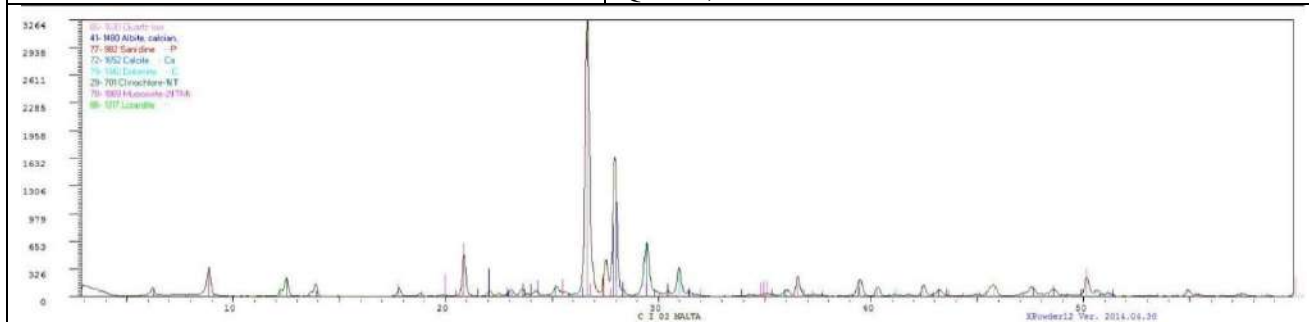
I risultati delle analisi sono riportati nelle seguenti tabelle suddivise per campioni litici (Tab.4.4), campioni di malta di finitura superficiale (Tab.4.5) e campioni di malta di allettamento (Tab.4.6), complete dei relativi diffrattogrammi.

²³² Per approfondimenti sulla tecnica diagnostica vedi p. 48

TABELLA 4.4	
ANALISI XRD LITOTIPI	
Campione C.N.A Litotipo: Arenaria locale	Composizione mineralogica: Albite, Calcite, Clorite, Muscovite, Quarzo
Campione P.C.O.01 Litotipo: Arenaria da Flysch lamellare	Composizione mineralogica: Albite, Calcite, Clorite, Dolomite, Muscovite, Quarzo
Campione M.G.06 Litotipo: Calcare compatto	Composizione mineralogica: Calcite

TABELLA 4.5
ANALISI XRD MALTE DI FINITURA SUPERFICIALE

Campione C.I.02 Malta di Finitura Superficiale	Composizione mineralogica: Albite, Calcite, Clorite, Dolomite, Lizardite, Muscovite, Quarzo, Sanidino
--	---



Campione R.L.01 Malta di Finitura Superficiale	Composizione mineralogica: Albite, Calcite, Clorite, Dolomite, Muscovite, Quarzo, Sanidino
--	--

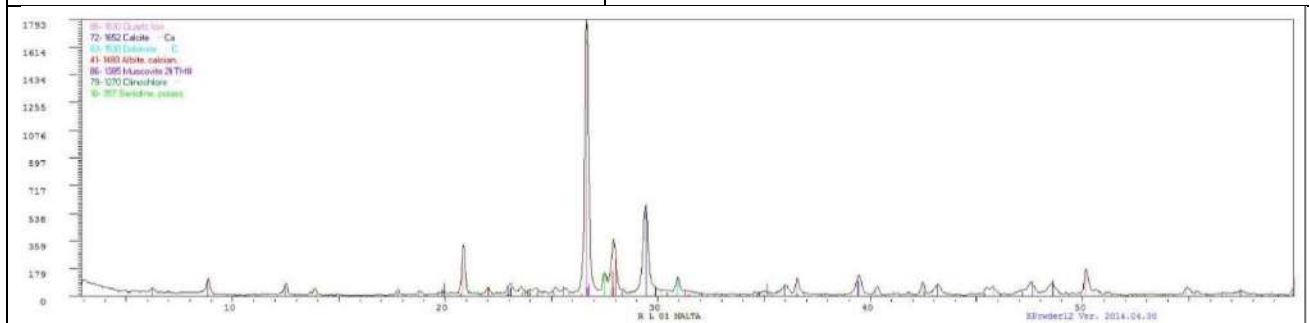
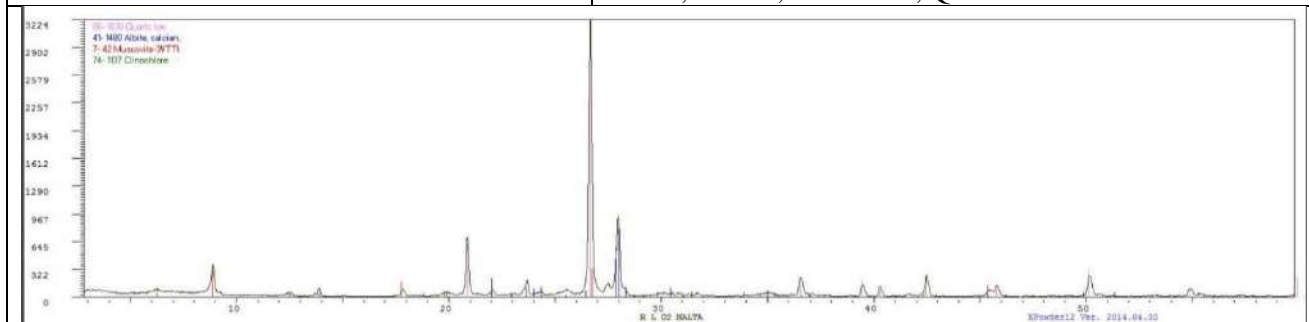
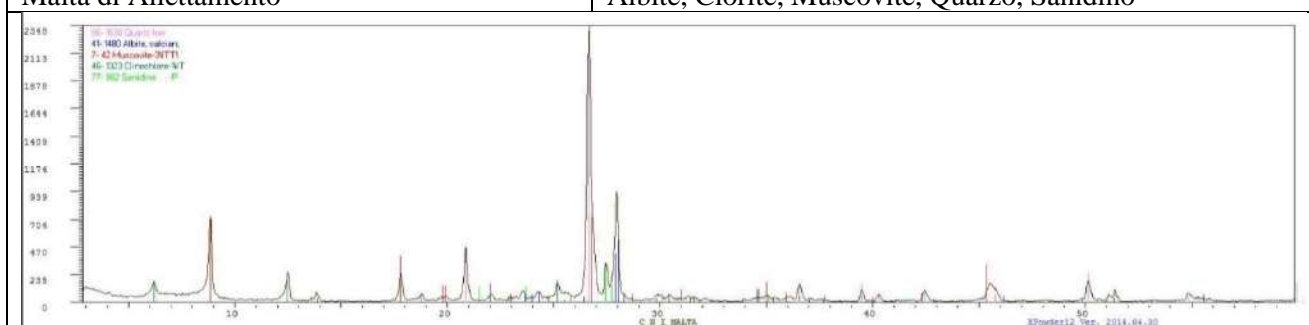


TABELLA 4.6
ANALISI XRD MALTE DI ALLETTAMENTO

Campione R.L.02 Malta di Allettamento	Composizione mineralogica: Albite, Clorite, Muscovite, Quarzo
---	---



Campione C.N.I Malta di Allettamento	Composizione mineralogica: Albite, Clorite, Muscovite, Quarzo, Sanidino
--	---



Minerali ↓							
Albite							
Calcite							
Clorite							
Dolomite							
Lizardite							
Muscovite							
Quarzo							
Sanidino							
Campioni →	C.N.A.	P.C.O.01	M.G.06	C.I.02	R.L.01	R.L.02	C.N.I.
Tipologia →	LITOTIPI			MALTE FINITURA		MALTE ALLETTAMENTO	

ANALISI COMPARATA

- LITOTIPI

C.N.A. e P.C.O.01 Presentano la stessa composizione mineralogica a meno della Dolomite, in quanto entrambe arenarie. M.G.06 essendo un calcare compatto è positivo al solo segnale della Calcite.

- MALTE FINITURA

C.I.02 e R.L.02 hanno la stessa composizione mineralogica a meno della Lizardite.

- MALTE DI ALLETTAMENTO

R.L.02 e C.N.I. presentano la stessa composizione mineralogica a meno del Sanidino.

- LITOTIPI_MALTE DI FINITURA

Litotipi e malte di finitura presentano la stessa composizione mineralogica a meno della Lizardite.

- LITOTIPI_MALTE DI ALLETTAMENTO

Litotipi e malte di allettamento presentano la stessa composizione mineralogica a meno della Calcite, Dolomite e Sanidino.

- MALTE DI FINITURA_MALTE DI ALLETTAMENTO

Malte di finitura e malte di allettamento presentano la stessa composizione mineralogica a meno della Calcite, Dolomite e Lizardite (Fig.4.57).

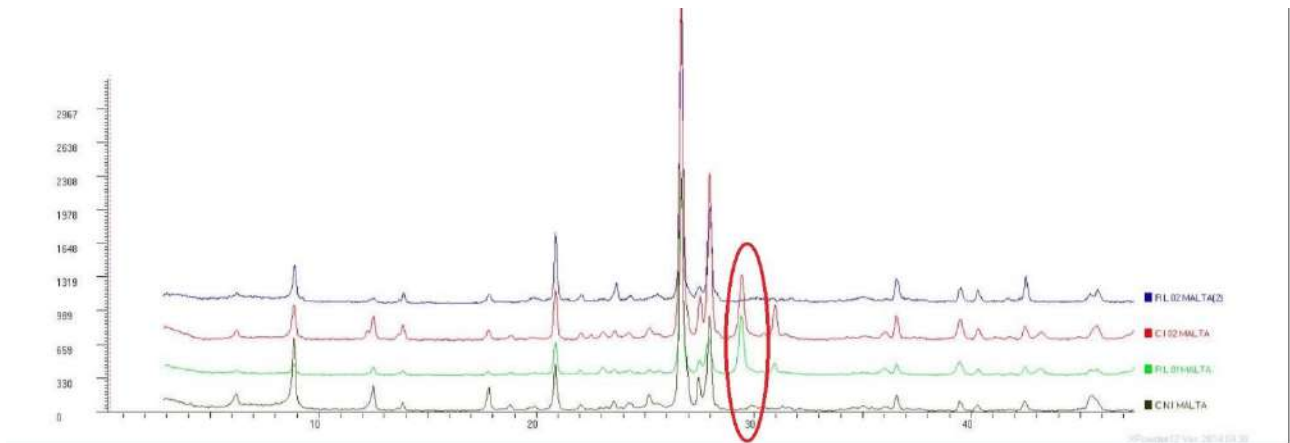


Figura 4.57: Diffratogrammi relativi a tutti i campioni di malta (finitura e allettamento) in analisi comparata. I diffratogrammi appaiono in sovrapposizione quasi totale dei picchi, tranne quello della calcite (evidenziato in rosso), relativo ai soli campioni di malta di finitura superficiale.

INDAGINI AL SEM²³³

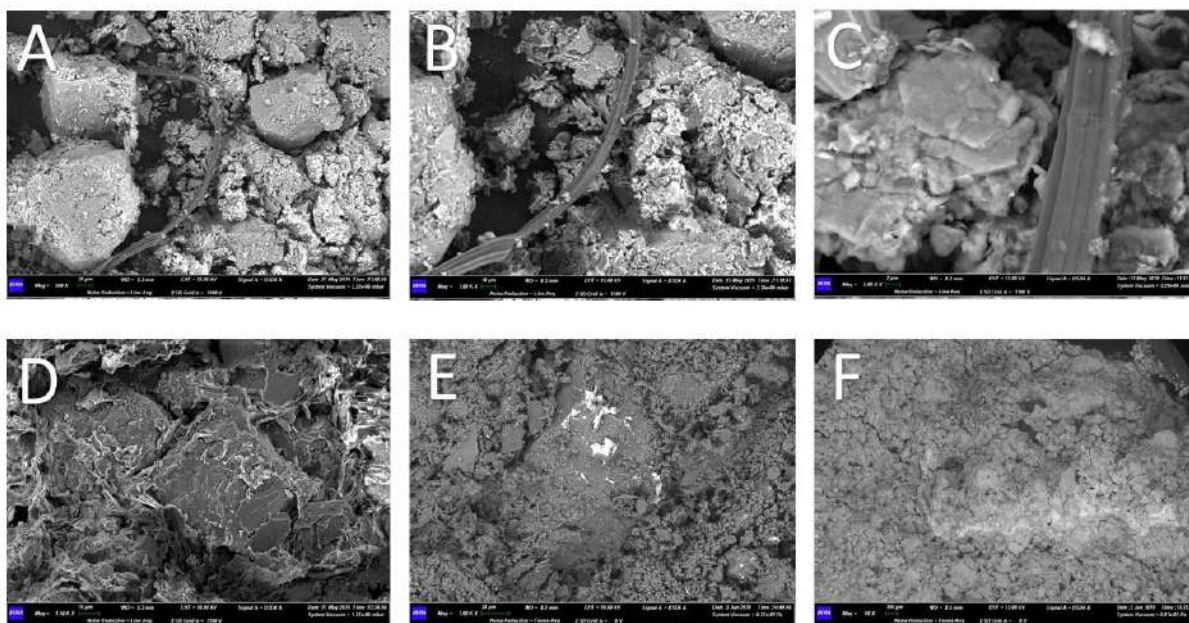
Le analisi sono state condotte su due campioni di malta di allettamento e di finitura superficiale:

- R.L.02 (Malta di allettamento)
- C.I.02 (Finitura superficiale)

Le analisi sono state effettuate presso il Centro Microscopie dell'Università degli Studi dell'Aquila, con Microscopio Elettronico a Scansione Zeiss Gemini 500 SEM. I campioni non sono stati pretrattati.

I risultati delle analisi sono riportati di seguito in relazione alle immagini SEM e alle relative mappature degli elementi in fluorescenza dei raggi X, modalità Energy Dispersive (EDS).

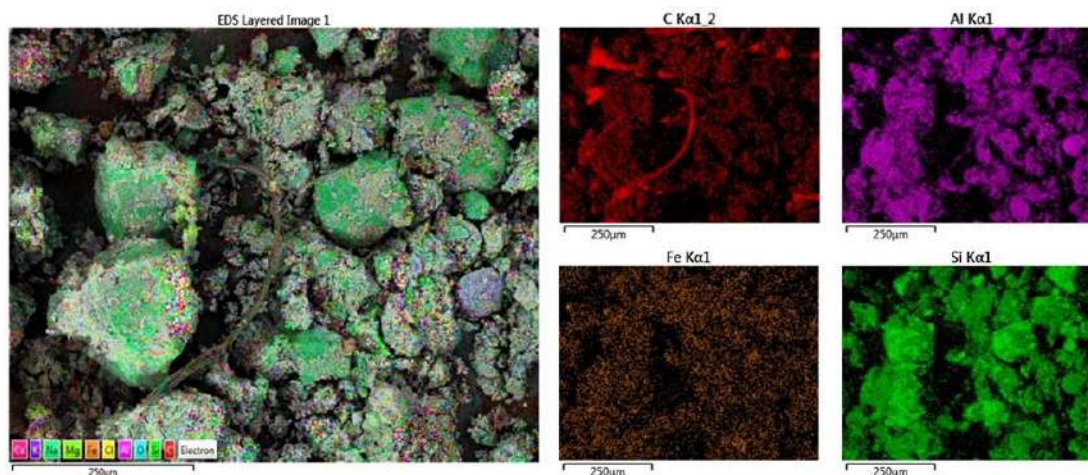
Indagini sul campione R.L.02



- A) Ingrandimento 500X, apprezzabile la natura argillosa del legante, presente una fibra identificabile come ifa fungina.
- B) Ingrandimento 1000X
- C) Ingrandimento 5000X, struttura cristallina della muscovite, minerale argilloso della componente legante e struttura settata dell'ifa fungina
- D) Ingrandimento 1500X, struttura laminare dei minerali argilloso presenti come legante

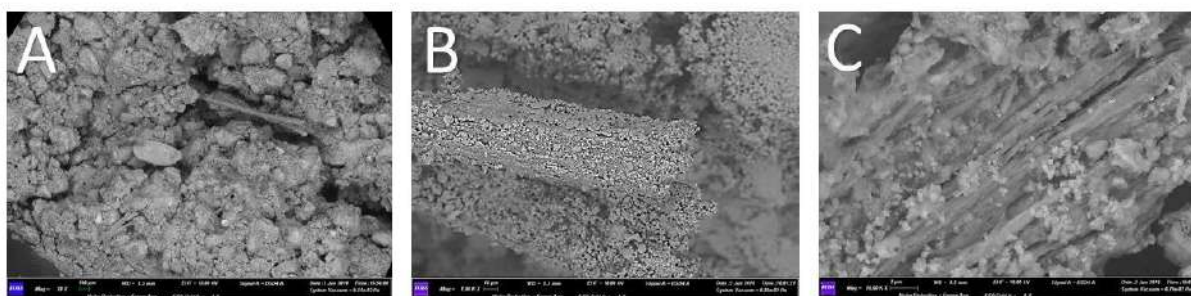
²³³ Per approfondimenti sulla tecnica diagnostica vedi p. 47

- E) Ingrandimento 1000X, in bianco, zone dell'impasto ad alta concentrazione di componenti ferrose, si nota una maggiore compattezza dell'impasto
- F) Ingrandimento 80X, in bianco, zone dell'impasto ad alta concentrazione di componenti ferrose



Ingrandimento 500X, Microanalisi SEM EDS, mappature del Carbonio, Alluminio, Ferro e Silicio.

Indagini sul campione C.I.02



- A) Ingrandimento 80X, impasto a base di calce aerea e aggregato sabbioso con aggiunta di fibre vegetali
- B) Ingrandimento 1000X, fibra vegetale presente come aggiunta nell'impasto
- C) ingrandimento 10000X, struttura della fibra vegetale, con particelle di legante ben adese alle microfibrille

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

ACHENZA SANNA 2009: Achenza M., Sanna U.; *Il manuale tematico della terra cruda*; DEI tipografia del Genio Civile, 2009

AQUILINI 2002: Aquilini L.; *Amatrice. Tesori d'arte*; Anniballi Grafiche, Ancona, 2002

BALDACCIO 1958: Baldacci O.; *L'ambiente geografico delle case di terra in Italia*; in *Studi geografici in onore del Prof. Renato Biasutti*, Supplemento al vol. LXV della *Rivista Geografica Italiana*, Firenze, 1958

CONTREAU 1791: Contreux F. *Ecole d'Architecture rurale; premier cahier ou les leçons par lesquelles on apprenda soi-même à bâtir solidement les maisons de plusieurs étage avec le terre seule*; Parigi, 1791

DEL ROSSO 1793: Del Rosso G.; *Dell'economica costruzione delle case di terra; opuscolo diretto agl'industriosi possidentie abitatori dell'agro toscano*; Firenze, 1793

DE MARTINIS 1993: De Martinis L.; *Amatrice nel tempo*; Edizioni Tracce, Ancona, 1993

DE MEO 2006: De Meo M.; *Tecniche costruttive murarie medievali: La Sabina*; L'Erma di Bretshneider; 2006

D'INTINOSANTE 2018: D'Intinosante V.; *Microzonazione sismica di livello 3: il caso del centro abitato di Frivazzano (MS)*; in *Atti del 37° Convegno GNGTS*, Bologna 2018; pp. 290-298

DOGLIONI, MARCHETTI, MODENA 2016: Doglioni F., Marchetti L., Modena C.; *Prima ricerca/rapporto sul comportamento ai sismi 2016 e sul danno ulteriore subito da edifici storici già consolidati nell'Umbria e nelle Marche dopo i terremoti del 1979 e del 1997. Primi spunti per l'indirizzo degli ulteriori interventi di riparazione/miglioramento e di approfondimenti scientifici*; Allegato alle Linee di indirizzo metodologiche e tecniche per la ricostruzione del patrimonio culturale danneggiato dal sisma del 24 Agosto 2016 e seguenti, Circolare n. 53/2017 DG-ABAP.

DONATELLI 2010: Donatelli A.; *Terremoto e architettura storica: prevenire l'emergenza*; Gangemi editore; Roma, 2010

ELERT ET AL 2019: Elert K. et al.; *Performance of alkaline activation for the consolidation of earthen architecture*; *Journal of Cultural Heritage*, 2019; pp. 93-111

FONTANA 2006: Fontana L.; *Costruire in Terra Cruda. Studi e Ricerche per un cantiere di auto-costruzione*; Vitali e Ghianda Casa Editrice; Genova, 2006

FRANCOVICH, GELICHI, PARENTI 1980: Francovich R., Gelichi S., Parenti R.; *Aspetti e problemi di forme abitative minori, attraverso la documentazione materiale nella Toscana medievale*; in *Archeologia Medievale* n°VII, anno 1980; pp. 173-246

GIAMMARINI 2017: Giammarini R.; *L'impianto urbano della città di Amatrice, Geometrie, adattamenti e trasformazioni secc. XIII-XV*; in *Centri di fondazione e insediamenti urbani nel Lazio (XIII-XX Secolo): da*

Amatrice a Collevero; in *Storia dell'urbanistica*, Anno XXXVI, Serie terza 9/2017; Edizioni Kappa; pp. 29-48

GILLY 1797: Gilly D.; *Handbuch der Landbaukunst*; Berlino, 1797

MASSIMI 1982: Massimi A.; *Itinerari amatriciani*; Arti Grafiche Fratelli Palombi, Roma, 1982

MIRABILE GATTIA ET AL. 2019: Mirabile Gattia D. et Al., *Characterization of historical masonry mortar from sites damaged during the central Italy 2016-2017 seismic sequence: the case study of Arquata del Tronto*, in *Annal of Geophysics* 63, 3, 2019; pp.1-11

RONDELET 1812: Rondelet J.F.; *Traité theorique et pratique de l'art de bâtir*; Didot, Parigi, 1812

SARACCO 2010: Saracco M.; *Architettura in terra cruda. Il caso delle Marche: dallo studio al restauro*; Alinea Editrice, Firenze 2010

SEBASTIAN ET AL. 2015: Sebastian E. et Al.; *Alkaline activation as an alternative method for the consolidation of earthen architecture*; in *Journal of Cultural Heritage*, 2015; pp. 18-36

VALVERDE ET AL. 2008: Valverde I. et Al.; *Alkaline treatment of clay minerals from the Alhambra Formation: Implications for the conservation of earthen architecture*; in *Clay Science* 39, 2008; pp. 62-74

VISCOGLIOSI 2016: Viscogliosi A.; *Amatrice. Storia, arte e cultura*; Silvana Editoriale, Roma, 2016

CAPITOLO 5 – BUONE PRATICHE DELLA DIAGNOSTICA NEL CONTESTO DEL DEPOSITO MACERIE: SPERIMENTAZIONE SULLE MACERIE PROVENIENTI DALLA CHIESA DI S.AGOSTINO AD AMATRICE

5.0 Introduzione

Con la Direttiva MiBACT 12/09/16, “per le procedure di rimozione e recupero delle macerie di beni tutelati e di edilizia storica”, sono stati istituiti per la prima volta i depositi temporanei dove accantonare le macerie derivanti dai crolli di beni tutelati e di edifici storica. Precedentemente era prevista la sola presenza di depositi per la custodia delle opere mobili recuperate dalle fabbriche collassate o pericolanti. Nelle quattro regioni colpite dal sisma del 2016 e 2017, sono stati individuati alcuni depositi temporanei per il ricovero degli elementi pregiati (macerie di tipo ‘A’). La regione Abruzzo ha predisposto più ricoveri diffusi sul territorio; nel Lazio è stato individuato un hangar di proprietà dell’ENAC all’interno dell’aeroporto di Rieti; nelle Marche sono stati allestite diverse strutture temporanee protettive presso gli stessi monumenti che hanno subito crolli; in Umbria le macerie di tipo ‘A’ sono state ricoverate nell’area del deposito archeologico di Santa Scolastica della Soprintendenza ABAP in *containers* di sicurezza²³⁴. La diagnostica potrebbe rivelarsi un utile strumento per l’indagine e la catalogazione delle macerie nei depositi: nel presente capitolo vengono illustrate alcune proposte operative da effettuarsi all’interno dei depositi e si dà conto dei risultati di una sperimentazione coerente condotta presso il deposito per le macerie dei beni tutelati di Rieti su alcuni resti provenienti dalla chiesa di Sant’Agostino di Amatrice.

²³⁴ RELAZIONE SEGRETARIATO GENERALE MiBACT

5.1 Proposte per la catalogazione delle macerie in deposito

Nei depositi dedicati al ricovero dei beni mobili le prime azioni di catalogazione sono di fondamentale importanza e le procedure sono ben normate e articolate in diversi passaggi. Ogni manufatto trasportato viene schedato utilizzando l'apposito modello cartaceo di rilievo del danno²³⁵. Tali schede di accompagnamento attestano lo spostamento dei manufatti in deposito. Nel momento della trasposizione informatica delle schede, gestita su piattaforma Carta del Rischio, si procede alla verifica dell'esistenza di un'anagrafica dell'opera nel Catalogo generale²³⁶. Qualora le anagrafiche dei manufatti non risultino, si generano *ex-novo* sul sistema specifiche schede "Opere d'Arte" (schede O.A.) definite e predisposte dall'ICCD²³⁷. Tale modello permette una descrizione dettagliata del manufatto comprensiva della caratterizzazione a vista dei materiali e delle tecniche esecutive, oltre che, ovviamente, della descrizione dei danni riportati. Dopo la fase di catalogazione in base alla tipologia e alle loro caratteristiche materiche, i beni mobili sono collocati in apposite strutture di ricovero interne ai depositi, che possono essere pannelli per il posizionamento dei dipinti o scaffalature realizzate per ospitare sculture, arredi liturgici, frammenti di affreschi o di altri apparati decorativi riposti in cassettoni. Sistemi di monitoraggio microclimatico consentono inoltre il controllo delle condizioni ambientali e di attivare le eventuali correzioni di umidità e temperatura per garantire un livello di conservazione ottimale o, laddove non sia possibile, di effettuare la movimentazione dei beni all'interno del deposito in zone più idonee²³⁸. Ogni deposito è dotato di un laboratorio di pronto intervento e restauro delle opere ricoverate, operazioni che necessitano anche di strumentazione diagnostica *in situ*.

Per quanto concerne i depositi per le macerie di tipo 'A', derivanti dal crollo di beni monumentali, i materiali vengono trasportati e collocati in funzione degli edifici di provenienza. Pervengono in deposito²³⁹:

- le pietre di qualsiasi dimensione che presentino lavorazioni, modanature, bassorilievi ed elementi decorativi;
- i laterizi storici, i coppi e le piastrelle con spessore di 2-3 cm, sia integri che scheggiati;

²³⁵ Il modello è denominato C-BM (Beni Mobili) ed è previsto dalla Direttiva del Ministro dei beni e delle attività culturali e del turismo del 12/12/2013, "Procedure per la gestione delle attività di messa in sicurezza e salvaguardia del patrimonio culturale in caso di emergenze derivanti da calamità naturali" e dalla Direttiva del Ministro dei beni e delle attività culturali e del turismo del 23/04/2015 di aggiornamento della precedente.

²³⁶ CUTARELLI 2019

²³⁷ Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione.

²³⁸ ACCONCI, PORRO 2017.

²³⁹ Regione Lazio - Sisma 24 Agosto 2016 - Piano di gestione delle macerie di cui al D.L. 9 febbraio 2017 n°8 convertito il L. 7 aprile 2017 n°45

- le pietre provenienti dalle strutture murarie che abbiano almeno su una delle facce una dimensione minima di 30 cm circa
- i pezzi d'interesse architettonico, storico o documentario.

Tutte le macerie trasportate in deposito vengono ordinatamente accatastate su bancali. Su ogni bancale devono essere alloggiati i pezzi pertinenti a un solo edificio. Ogni bancale deve pertanto indicare esplicitamente la loro provenienza. Non esiste un sistema di catalogazione della singola maceria, né tantomeno un laboratorio di diagnostica e restauro interno al deposito. Effettivamente, per come sono organizzati attualmente, i depositi per le macerie sono luoghi di stoccaggio ordinato dei materiali d'interesse culturale, deputati alla loro custodia, nel tempo che intercorre tra la loro rimozione e la loro eventuale ricollocazione *in situ*. È evidente che i materiali che arrivano nel deposito macerie non devono essere particolarmente deperibili e non hanno bisogno di controlli approfonditi sul loro stato di conservazione. Tuttavia, una catalogazione per singolo pezzo e una minima caratterizzazione diagnostica in deposito potrebbero rappresentare uno stato di avanzamento procedurale di notevole potenzialità per le successive attività di restauro, ricollocazione *in situ* dei materiali o loro musealizzazione. Anche se non ricollocabili, infatti, le macerie di alcuni edifici particolarmente colpiti rappresentano attualmente l'unica forma di permanenza del monumento e occorrerà stabilire come e dove esse possano documentare l'esistenza delle fabbriche originarie. Il problema della ricomposizione dei frammenti o degli elementi integri di un manufatto complesso si presenta sia nella ricollocazione *in situ* sia nella musealizzazione. Si immagini, per esempio, di aver recuperato tutti i pezzi di un apparato decorativo lapideo come un portale, un rosone, un altare o un fregio scolpito. Gli elementi lapidei della muratura, pur non essendo decorativi, non sono esclusi a priori dall'esigenza di un'attenta catalogazione e caratterizzazione, come dimostrano alcune esperienze di ricostruzioni successive al sisma o ad altri eventi traumatici, realizzate attraverso la ricomposizione nella loro sede degli elementi architettonici smembrati.

Un esempio di questo tipo può essere considerato quello relativo al Duomo di Venzone²⁴⁰: la realizzazione del restauro e della ricostruzione non sarebbe stata possibile senza un'attenta e articolata documentazione delle singole componenti recuperate. Le informazioni relative alle macerie sono state gestite realizzando due archivi paralleli, il primo costituito da schede con il rilevamento delle caratteristiche di ogni singolo pezzo recuperabile, il secondo composto dai dati desunti dalla documentazione grafica e fotografica pre-sisma disponibile, associati ad ogni singola pietra, detta "pietra virtuale". Si è trattato di un esperimento all'avanguardia di abbinamento computer assistito

²⁴⁰ Per approfondimenti sull'intervento di restauro del Duomo di Venzone, semidistrutto dalla sequenza sismica del Friuli nel 1976, si rimanda al capitolo dedicato in DOGLIONI 2008, pp. 346-366.

tra pietre a terra e “pietre virtuali”. I parametri utili a tale abbinamento sono stati i dati archeometrici rilevati sulle macerie quali la morfologia, i dati metrici, i dati petrografici dei materiali, le caratteristiche forme di degrado (patine, incrostazioni alterazioni del materiale che dipendono anche dalla specifica esposizione agli agenti atmosferici e pertanto individuano determinate localizzazioni nella fabbrica), i segni di lavorazione e le tracce residue di altri materiali (principalmente malte e intonaci)²⁴¹. Questo modello di schedatura delle macerie potrebbe essere adottato per la catalogazione di singoli pezzi in deposito facendo affidamento anche sulle tecnologie ad oggi disponibili. Per il rilievo dei dati archeometrici sarebbe fondamentale allestire all’interno dei depositi un piccolo laboratorio composto da strumentazione diagnostica portatile²⁴². Parallelamente ogni maceria dovrebbe essere digitalizzata in forma di modello 3D, in modo da potervi associare i dati diagnostici registrati. Un modello virtuale completo di tali informazioni, sia che esse siano distribuite sulle superfici (es. patina) sia che riguardino l’intero volume del pezzo (es. litotipo), può essere realizzato in ambiente BIM²⁴³. L’utilizzo della metodologia BIM è in grado di integrare al modello 3D dell’edificio o di un suo singolo elemento informazioni geometriche e non geometriche. Queste funzioni sono particolarmente favorevoli alla rappresentazione e documentazione delle caratteristiche materiche degli elementi architettonici. L’uso del sistema informativo BIM è stato negli ultimi dieci anni più volte sperimentato per il patrimonio architettonico storico. Tali sperimentazioni hanno dato vita all’acronimo HBIM, "Historical Building Information Modelling"²⁴⁴. I modelli tridimensionali delle macerie così ottenuti, rappresenterebbero un insieme di entità di catalogazione interrogabili, ma anche degli elementi per la sperimentazione di esperienze di anastilosi virtuale²⁴⁵. Attualmente tali esperienze sono per lo più condotte sfruttando specifici software in grado di associare

²⁴¹ Criteri simili di ricostruzione per anastilosi sono stati adottati in altri casi. Nel restauro della Chiesa di San Pietro ad Alba Fucens, per esempio, si ritrova un metodo affine di abbinamento tra blocco a terra e blocco nella documentazione precedente al crollo, determinato dal sisma di Avezzano del 1915 (BRANDI 1957). Gli elementi architettonici del portico di San Giorgio in Velabro a Roma, distrutto in un attentato di stampo mafioso nel 1993, sono stati minuziosamente ricomposti grazie al lavoro di recupero e catalogazione dei singoli frammenti e alla collaborazione con la Polizia Scientifica che ha fornito supporto anche metodologico per l’archiviazione dei reperti, utile inoltre al parallelo svolgimento delle indagini (CHERUBINI 2002).

²⁴² Nel paragrafo 5.3 si presenta una sperimentazione condotta nel deposito macerie di Rieti, che custodisce le macerie di tipo “a” provenienti da Amatrice e Accumoli, nella quale sono stati utilizzati strumenti diagnostici portatili per la caratterizzazione dei materiali.

²⁴³ BIM è l’acronimo di “Building Information Modeling” (Modello di Informazioni di un Edificio) ed è definito dal National Institutes of Building Science come la “rappresentazione digitale di caratteristiche fisiche e funzionali di un oggetto”. Il BIM quindi non è un prodotto né un software ma un contenitore di informazioni sull’edificio in cui inserire dati grafici (come i disegni) e degli specifici attributi tecnici (come schede tecniche e caratteristiche) anche relativi al ciclo di vita previsto.

²⁴⁴ Per approfondimenti si rimanda a MURPHY, MCGOVERN, PAVIA 2009; LI ET AL. 2017; TOMASELLO, RUSSO, CASCONI 2018.

²⁴⁵ Un interessante esempio di anastilosi virtuale è quella condotta sul tempio C di Selinunte, interamente basata sul rilievo planimetrico di dettaglio e sul rilievo volumetrico di tutti gli elementi sicuramente pertinenti (AMICI 2009).

morfologicamente i modelli 3D. Alcuni di essi sfruttano anche il dato di riflettanza delle superfici, laddove il rilievo sia stato condotto con tecnologie basate sulla fotogrammetria digitale²⁴⁶. Nessuna delle citate esperienze ha però mai utilizzato i dati relativi alle caratteristiche dei materiali, al degrado delle superfici e ai segni di lavorazione con la stessa metodologia seguita ad esempio nel caso del restauro del Duomo di Venzone. Una catalogazione delle macerie, integrata con i dati diagnostici, eseguita direttamente in deposito potrebbe quindi essere una buona base di partenza futuri sviluppi di queste linee di ricerca. Ricapitolando quindi, il modello di catalogazione delle macerie in deposito che si propone si avvale del seguente iter procedurale:

- Trasporto delle macerie in deposito
- Stoccaggio delle macerie su bancali, riportanti i riferimenti dell'edificio di provenienza, eseguito in modo da poter in ogni momento spostare il singolo pezzo nel laboratorio di rilievo e diagnostica allestito all'interno del deposito²⁴⁷.
- Prima schedatura delle macerie riportante i dati metrici, morfologici e materici osservabili necessaria alla programmazione degli approfondimenti diagnostici di laboratorio
- Rilievo 3D di ogni singolo pezzo
- Campagna diagnostica strumentale eseguita su ogni maceria in funzione delle caratteristiche rilevate a vista
- Elaborazione dei dati e creazione di un modello 3D di ogni pezzo integrato con i dati derivanti dalle indagini diagnostiche
- Parallela elaborazione di un database generale di gestione delle informazioni su tutte le macerie ricoverate in deposito.

²⁴⁶ DELPIANO ET AL. 2019, FABRIS ET AL. 2009.

²⁴⁷ Il laboratorio deve essere dotato di:

- Attrezzatura per la pulitura e per il pronto intervento su macerie riportanti danni tali da comprometterne l'integrità nelle eventuali movimentazioni in deposito.
- Strumentazione e attrezzatura per il rilievo e la successiva realizzazione del modello 3D del pezzo.
- Strumentazione diagnostica portatile per la caratterizzazione dei materiali, delle superfici, delle forme di degrado e dei segni di lavorazione.

5.2 Finalità degli studi diagnostici nei depositi

La proposta di effettuare studi diagnostici nei depositi delle macerie persegue anche finalità che vanno oltre le esigenze di catalogazione. Disporre nell'immediato di una diagnosi dello stato conservativo dei materiali è importante per il controllo dei processi di degrado in corso. Come già detto, i materiali che pervengono nel deposito macerie non sono di per sé particolarmente deperibili, tuttavia si tratta di elementi antichi che hanno subito un grave trauma e che si vengono a trovare repentinamente in un ambiente conservativo completamente diverso da quello in cui si sono stabilizzati nel tempo i loro naturali meccanismi di invecchiamento. Può quindi comunque capitare che, nel caso in cui vi siano condizioni di degrado già in corso da prima dei crolli, i materiali subiscano brusche accelerazioni dei processi di invecchiamento. Poter diagnosticare tali situazioni o monitorarle nel tempo renderebbe possibile un intervento preliminare al vero e proprio restauro del pezzo. Si rende noto che, ad oggi, la maggior parte delle macerie trasportate nei depositi è ancora collocata sui bancali; i tempi di permanenza sono pertanto piuttosto lunghi. Conoscere e monitorare le condizioni conservative dei pezzi è inoltre utile a progettare interventi successivi che si avvalgano di soluzioni efficaci e compatibili. Oltre alle finalità conservative esistono poi una serie di interessi conoscitivi e formativi. Come nel caso del trattamento e dello studio diagnostico proposto nel secondo capitolo per le macerie di tipo 'B', anche per le macerie di tipo 'A' varrebbe la pena di sfruttare il tempo di permanenza in deposito come occasione di conoscenza globale della storia dell'architettura dei luoghi colpiti, promuovendo studi, ricerche e approfondimenti che completino il complesso quadro di conoscenze sulle tradizioni costruttive parallelamente acquisibile sui resti del tessuto edilizio diffuso. Tali occasioni di studio sarebbero molto preziose per formare personale in grado d'intervenire sempre più efficacemente in condizioni di emergenza e in grado di progettare interventi di restauro e di ricostruzione post-sisma in modo adeguatamente consapevole. Nel seguente paragrafo s'illustra a titolo esemplificativo lo studio condotto dalla candidata presso il deposito per le macerie di interesse culturale di tipo 'A' di Rieti, sui materiali provenienti dalla chiesa di Sant'Agostino di Amatrice, in particolar modo sui pezzi del portale e del rosone. Lo studio è servito a testare i principi del metodo di catalogazione proposto, ma ha portato all'acquisizione di ulteriori dati riguardanti la storia realizzativa e conservativa dei due elementi.

5.3 Caso studio: macerie dalla chiesa di S. Agostino di Amatrice: catalogazione e campagna diagnostica *in situ*

Il deposito delle macerie di tipo 'A' di Rieti è stato allestito in un hangar aeroportuale concesso dall'ENAC all'UCCR-Lazio. L'hangar, costituito da due grandi ambienti collegati, denominati A e B, ospita attualmente tutte le macerie provenienti dai beni monumentali di Amatrice e Accumoli. Il permesso di frequenza a fini di ricerca della candidata presso il deposito è stato accordato dall'UCCR-Lazio dal 01/08/2018 al 30/11/2018. Tutte le attività scientifiche svolte dalla candidata all'interno del deposito sono state condotte sotto la supervisione del personale dell'UCCR-Lazio e di suoi collaboratori stretti²⁴⁸. La quantità di macerie presenti all'interno del deposito è vastissima. La scelta di catalogare, documentare e indagare anche con mezzi diagnostici i resti della chiesa di Sant'Agostino è stata dettata dalla necessità di confrontarsi con macerie che avessero allo stesso tempo forme diversificate ma comunque ben riconoscibili. Le pietre pervenute in deposito dalla chiesa di Sant'Agostino sono elementi del portale e del rosone. La sperimentazione si poneva l'obiettivo di verificare la validità del metodo di catalogazione delle macerie proposto. In quattro mesi non sarebbe stato possibile confrontarsi con materiali meno identificabili. Non è stato inoltre possibile realizzare una catalogazione che riproducesse esattamente il metodo esposto nel paragrafo 5.1. Per motivi di sicurezza, all'interno di un deposito non organizzato per una catalogazione delle macerie, non è stato permesso di movimentare le pietre sui bancali. Non sono stati pertanto realizzati i modelli virtuali tridimensionali dei pezzi. Le macerie sono state in ogni caso schedate registrando tutti i parametri dimensionali e materici previsti nel metodo in sperimentazione e accuratamente documentate fotograficamente. Le indagini diagnostiche *in situ* che è stato possibile effettuare non disponendo di un laboratorio in deposito sono state²⁴⁹:

- la caratterizzazione dei materiali a vista e mediante microscopia ottica digitale *in situ*²⁵⁰;
- lo studio delle tracce di lavorazione dei materiali mediante ripresa fotografica in luce radente²⁵¹;
- lo studio delle tracce di tinteggiatura residue mediante test colorimetrici²⁵²;

²⁴⁸ Si ringrazia in particolar modo il dott. Alessandro Betori dell'UCCR-Lazio e Lorenzo Serva, collaboratore dell'UCCR-Lazio e della Diocesi di Rieti per il recupero dei beni mobili e delle macerie di interesse culturale.

²⁴⁹ La strumentazione e l'attrezzatura necessaria alle indagini diagnostiche *in situ* è stata fornita dall'AStRe-LabMat del DSDRA dell'Università di Roma La Sapienza.

²⁵⁰ Per approfondimenti sulla tecnica si rimanda all'inserto al capitolo 1: Diagnostica per l'architettura/ Caratterizzazione delle superfici *in situ*/ Microscopia *in situ*, pag. 56.

²⁵¹ Per approfondimenti sulla tecnica si rimanda all'inserto al capitolo 1: Diagnostica per l'architettura/ Caratterizzazione delle superfici *in situ*/ Ripresa fotografica in luce radente, pag. 56.

²⁵² Per approfondimenti sulla tecnica si rimanda all'inserto al capitolo 1: Diagnostica per l'architettura/ Caratterizzazione delle superfici *in situ*/ Colorimetria e Spettrofotometria, pag. 57.

- l'osservazione dei materiali in luce UV, per la localizzazione di eventuali agenti biologici patogeni o materiali organici sulle superfici²⁵³.

5.3.1 Breve storia costruttiva della chiesa di Sant'Agostino e dinamica dei crolli a partire dal 24 agosto 2016

La chiesa di Sant'Agostino in Amatrice è disposta all'estremità sud-orientale della città, a ridosso delle mura cittadine in corrispondenza della Porta Carbonara. La costruzione della chiesa si fa risalire alla prima metà del XV secolo, in riferimento alla datazione incisa sul portale (1428). Tracce di una precedente costruzione si possono ravvisare nella parte inferiore del fianco Nord-Ovest, più spoglio e irregolare di altri fianchi²⁵⁴. L'impianto della chiesa è ad aula unica. Il suo sviluppo planimetrico è fortemente condizionato dall'appoggio diretto del presbiterio alle mura cittadine, che ha impedito la costruzione di una vera e propria abside, presente invece nella sua 'chiesa gemella' ad Amatrice, intitolata a San Francesco (Fig.5.1). Al di sopra dell'adiacente Porta Carbonara fu costruito il campanile a pianta rettangolare a partire dai resti di un'antica torre di avvistamento (Fig.5.2). La storia conservativa della chiesa è piuttosto travagliata²⁵⁵. Già nel 1580 l'edificio venne danneggiato da un incendio, nuovi danni, purtroppo non descritti dai monumenti, dovettero aggiungersi a seguito dei diversi sismi del 1639, 1646, 1672, 1703 e 1730. Si devono probabilmente a questi eventi le ricostruzioni della veste tardo-barocca, veicolata anche dall'aggiunta di altari laterali decorati in stucco e dall'intonacatura delle pareti stesa anche al di sopra di affreschi rinascimentali²⁵⁶. Anche la copertura che doveva presumibilmente in origine utilizzare capriate lignee, fu rifatta come volta a botte. Durante il XIX secolo la chiesa fu oggetto di numerosi restauri. Nel 1830 fu necessario intervenire sulla volta a botte che mostrava segni di cedimento, ma l'intervento non diede i risultati sperati e la volta fu demolita e ricostruita nel 1845. Anche il campanile fu interessato da un intervento di restauro all'incastellatura in legno che sosteneva la campana, nel 1824. Nel 1895, in occasione di alcuni lavori di manutenzione degli altari, riemersero gli antichi affreschi quattrocenteschi di Dionisio Cappelli, in quell'occasione solo documentati e poi ricoperti. Nel 1933, in seguito al peggioramento

²⁵³ Per approfondimenti sulla tecnica si rimanda all'inserito al capitolo 1: Diagnostica per l'architettura/ Caratterizzazione delle superfici in situ/ Imaging Multispettrale, pag. 57. Non sono state rilevate infezioni di natura biologica né tracce di materiale organico sulle superfici delle macerie indagate.

²⁵⁴ CARBONARA 1982

²⁵⁵ Tutte le informazioni sulla storia delle trasformazioni e dei restauri sulla chiesa di Sant'Agostino di Amatrice sono pubblicate in RUGGERI 1995

²⁵⁶ Le visite pastorali effettuate nel Settecento forniscono i nomi dei quattro altari barocchi, rispettivamente dedicati a Santa Caterina, al Crocifisso, a San Tommaso di Villanova e a Santa Maria di Loreto (RUGGERI 1995).

delle lesioni dovute al sisma del 1915, la facciata fu completamente rinnovata: si è provveduto così al suo rialzamento e alla sistemazione di un rosone al posto della preesistente finestra quadrata di poco più bassa (Fig.5.3), determinando in tal modo un profilo affine a quello delle chiese medioevali abruzzesi, con coronamento orizzontale e rosone centrale. Il rosone, di cui non è possibile stabilire l'effettiva esistenza nella chiesa più antica, divenne nel tempo l'elemento più caratterizzante dell'edificio²⁵⁷. Un altro terremoto, nel 1950, danneggiò la torre campanaria, restaurata nel 1958 e 1959. Nel 1965, per volere della Soprintendenza alle Belle Arti del Lazio, l'interno della chiesa fu riportato parzialmente al suo aspetto originario mediante la demolizione degli altari barocchi, ad eccezione dell'altare maggiore, la messa in luce degli antichi affreschi, la demolizione della volta a botte e il rifacimento della copertura a capriate lignee. La chiesa subì nuovamente danni con il terremoto del 1979; questi sono stati riparati nei primi anni '80. Non sono stati registrati danni in occasione del terremoto con aquilano del 2009. Il 24 Agosto 2016 la Porta Carbonara è crollata mentre parte superiore della facciata, corrispondente alla sopraelevazione del 1933, si è ribaltata, determinando così il collasso parziale della copertura. La scossa ha inoltre provocato la formazione di profonde lesioni presso la cella campanaria e lesioni a taglio nelle pareti longitudinali della chiesa. I sismi del 26 e del 30 Ottobre hanno prodotto il ribaltamento del cantonale destro della facciata e il parziale crollo della cella campanaria. 18 Gennaio 2017 il campanile è crollato definitivamente. Il 29 Gennaio 2017 un'ultima scossa, di non elevata intensità, ha innescato una serie di meccanismi di collasso già annunciati dalle condizioni precarie in cui le precedenti scosse avevano ridotto la fabbrica. Si è quindi verificato il ribaltamento della facciata longitudinale nord-ovest, con il conseguente crollo parziale dell'adiacente parete di fondo e la chiesa è pertanto rimasta in uno stato ormai ruderale (Fig.5.4).

²⁵⁷ Nel corso della catalogazione delle macerie e della loro caratterizzazione diagnostica, sono emersi indizi dell'esistenza di un antico rosone, anche se è attualmente impossibile stabilire se tale rosone fosse pertinente alla fabbrica di Sant'Agostino.



Figura 5.1: Chiesa di Sant'Agostino (a sinistra) e di San Francesco (a destra) ad Amatrice prima del sisma del 24 agosto 2016. Facciate a confronto. Fonte: www.comune.amatrice.rieti.it (data ultima consultazione 23/08/20)



Figura 5.2: Vista laterale della chiesa di Sant'Agostino di Amatrice prima del sisma del 24 agosto 2016. Visibili la Porta Carbonara con il campanile costruito al di sopra. Fonte: meteoweb.eu (data ultima consultazione 23/08/20)



Figura 5.3: chiesa di Sant'Agostino prima degli interventi del 1933, cartolina storica (SANFILIPPO, ROMANO 2018)

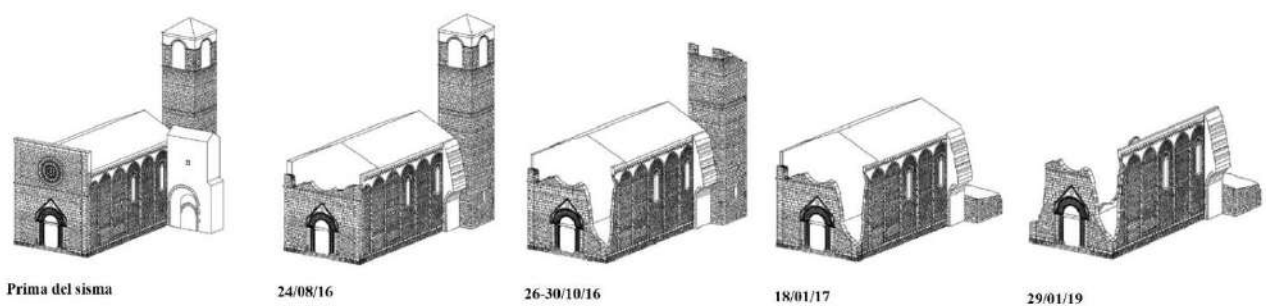


Figura 5.4: Rappresentazione dei crolli subiti dalla chiesa di Sant'Agostino di Amatrice, da sinistra a destra: situazione prima del sisma, 24 agosto 2016, dal 26 al 30 ottobre 2016, 18 gennaio 2017, 29 gennaio 2017 (SANFILIPPO, ROMANO 2018)

5.3.2 Le macerie del portale e del rosone della Chiesa di Sant'Agostino: la catalogazione in deposito

Durante il periodo concesso per la sperimentazione in deposito del metodo di catalogazione proposto, le macerie provenienti dalla chiesa di Sant'Agostino erano costituite da elementi lapidei del portale (63 pezzi), elementi lapidei del rosone (217 pezzi), altri elementi tra cui un'epigrafe che si trovava sulla facciata (28 pezzi) per un totale di 308 pezzi²⁵⁸. Le condizioni conservative delle macerie erano diversificate. Alcuni elementi si trovavano in condizioni di integrità del pezzo, altri riportavano dei danni, come evidenti mancanze di materiale dovute alla rottura prodotta dalla caduta dell'elemento a terra durante i crolli. In alcuni casi le macerie si presentavano in forma così frammentaria da non rendere possibile il riconoscimento dell'elemento di provenienza. Le macerie sono state disposte su un totale di 18 bancali sui quali, a seconda delle dimensioni dei pezzi, sono alloggiati dai 4 ai 30 pezzi. Le macerie sono state trasportate in deposito in diverse giornate e in ordine casuale, seguendo le stratificazioni di materiale prodotte dai progressivi crolli. Ciò ha determinato sulla maggior parte dei bancali una commistione tra elementi provenienti dal portale, dal rosone o da altre porzioni della facciata. Il primo passo per la catalogazione è stato quindi lo studio morfologico e tipologico degli elementi su documentazione fotografica precedente al sisma per il riconoscimento e degli stessi sui bancali²⁵⁹.

Riconoscimento degli elementi del portale di Sant'Agostino

Il portale ad arco della chiesa di Sant'Agostino di Amatrice è piuttosto strombato e riccamente scolpito (Fig.5.5). Stilisticamente è molto simile a quello della chiesa di San Francesco ad Amatrice e di altre due chiese dedicate a Sant'Agostino, rispettivamente costruite a Cittaducale e a Rieti (Figg. 5.6, 5.7, 5.8). La strombatura è ottenuta tramite la disposizione presso i due stipiti di pilastri alternati a due colonnine lisce e una colonnina tortile. Le due colonne laterali all'estremità del portale sono diverse tra loro, essendo cilindrica quella a sinistra e ottagonale quella a destra; entrambe sono sorrette da due leoni stilofori. Nella lunetta erano presenti due statue di terracotta policroma, trafugate nei primi anni Novanta²⁶⁰, raffiguranti l'Annunciazione dell'Arcangelo Gabriele alla Vergine. Il portale è datato da un'iscrizione sull'architrave: A.D. MCCCCXXVIII. La cuspide che lo sormonta ricorda quella di altri elementi coevi, fra i quali i già ricordati portali di San Francesco ad Amatrice e di Sant'Agostino a Rieti. Gli stipiti e l'arco interno che racchiude la lunetta sono decorati con motivi a fogliami e volute, così come anche nel San Francesco ad Amatrice (Fig.5.9). L'ultimo archivoltò

²⁵⁸ Altri elementi sono stati trasportati in deposito a sperimentazione già conclusa e non sono stati pertanto esaminati.

²⁵⁹ Non esistono purtroppo rappresentazioni grafiche o rilievi efficaci sul portale e sul rosone della Chiesa di Sant'Agostino prodotti prima del sisma.

²⁶⁰ ROSSI 2015.

esterno contiene alcune sculture che riempiono tutto lo spazio curvilineo, come accade nella chiesa di Sant'Agostino di Cittaducale, datato 1450 (Figg.5.10).

Al fine di identificare le componenti del portale sui bancali in deposito a tutti gli elementi effettivamente interessati dai crolli è stato assegnato un codice, sulla scorta della documentazione fotografica precedente al sisma (Fig.5.11). I codici generati sono i seguenti:

- CL – Colonnina Liscia
- CO – Colonnina Ottagonale
- CT – Colonnina Tortile
- L – Leone Stiloforo
- P – Pilastro
- CP – Contropilastro

In seguito all'azione delle scosse sismiche dal 24 agosto del 2016 al 29 gennaio del 2017, sul lato sinistro del portale sono crollati e successivamente trasportati in deposito 3 dei 5 rocchi della colonna tortile e tutti i componenti della colonnina liscia più esterna. Sul lato destro la situazione è risultata più critica in quanto sono crollati tutte le componenti delle colonnine lisce e della tortile, 3 dei 5 elementi che compongono il contropilastro, l'intera colonna ottagonale esterna e una rilevante porzione del sottostante leone stiloforo, il quale ha risentito anche del crollo dall'alto di altre macerie e si è frantumato (Fig.5.12).



Figura 5.5: Portale della chiesa di Sant'Agostino di Amatrice prima del sisma. Fonte: italiavirtualtour.it (data ultima consultazione: 20/08/20)

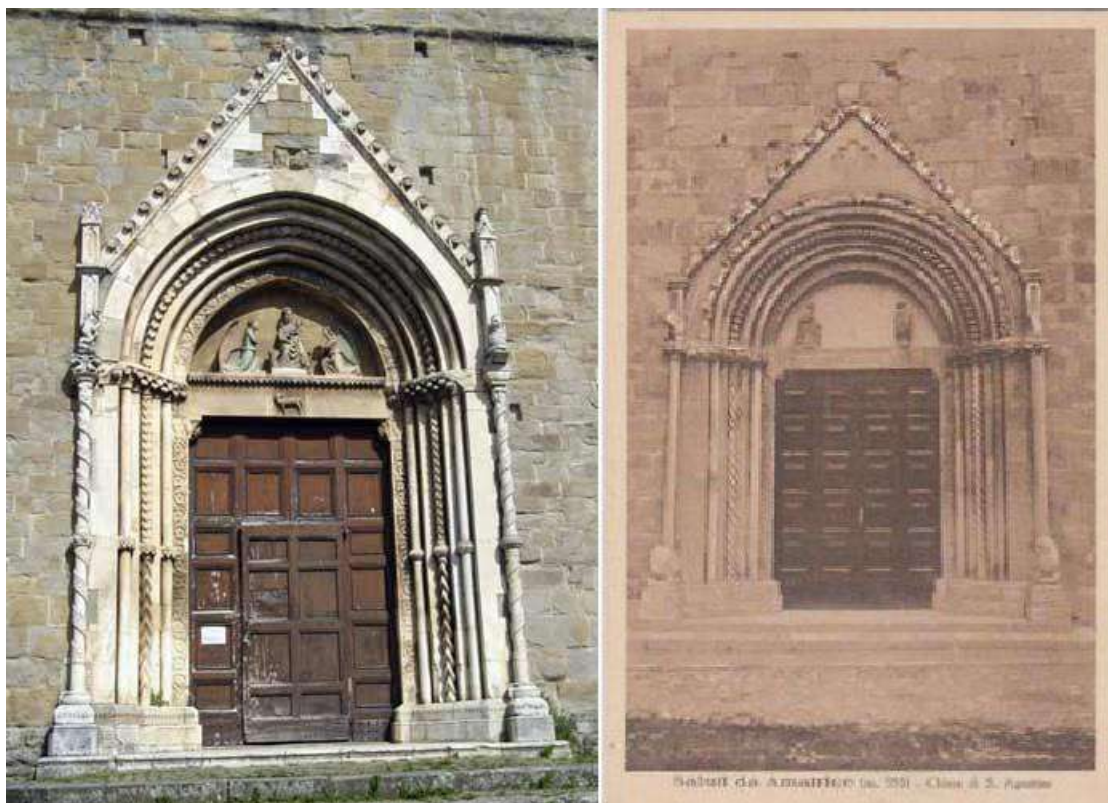


Figura 5.6: Confronto tra il portale della chiesa di San Francesco ad Amatrice prima del sisma a sinistra (Fonte: www.medioevo.org, data ultima consultazione 20/08/20) e il portale di sant'Agostino in una cartolina del 1925 a destra (Fonte: didatticaluceinsabina.com, data ultima consultazione 20/08/20). I due portali presentano una strombatura ottenuta dall'accostamento prospettico delle colonnine scolpite e sono inquadrati da una cuspide. Come si può osservare dall'immagine a destra, anche il portale di Sant'Agostino, come quello di San Francesco, accoglieva nella lunetta delle sculture in terracotta policroma. Il portale di San Francesco, diversamente da quello di Sant'Agostino, presenta un'apertura ad arco lievemente ogivale, mentre le colonnine sono su due ordini sovrapposti e mancano dei leoni stilofori.



Figura 5.7: Portale della chiesa di Sant'Agostino a Cittaducale (RI) (Foto autore). Presenta analogie con il portale della chiesa di Sant'Agostino ad Amatrice, anche se manca della cuspide sommitale.



Figura 5.8: Portale della chiesa di Sant'Agostino a Rieti (Foto autore). Oltre a presentare tratti stilisticamente confrontabili con quello di Sant'Agostino ad Amatrice, condivide con il portale di San Francesco ad Amatrice la soluzione delle colonnine laterali su due ordini sovrapposti.



Figura 5.9: Confronto tra i motivi decorativi degli stipiti del portone in Sant'Agostino di Amatrice, a sinistra, e in San Francesco di Amatrice, a destra, (ROSSI 2015)



Figura 5.10: Confronto fra i motivi decorativi, rappresentati un angelo e dei monaci, in chiave all'archivolto esterno del portale di Sant'Agostino ad Amatrice, a sinistra (ROSSI 2015) e del portale di Sant'Agostino a Cittaducale, a destra (foto autore).



Figura 5.11: Codificazione degli elementi interessati dai crolli prodotti nella sequenza sismica del 2016-2017 su documentazione fotografica precedente al sisma. CL – Colonnina Liscia: Sono presenti cinque colonnine lisce: due per ogni lato e una più esterna a sinistra. CO – Colonnina Ottagona: è presente una sola colonnina ottagonale, esterna alla destra del portale. CT – Colonnina Tortile: sono presenti due colonnine tortili, una per ogni lato. L – Leone Stilofo: sono presenti due leoni stilofo alla base delle colonnine esterne (a sinistra liscia, a destra ottagonale). P – Pilastrino: sono presenti due pilastrini per ogni lato. CP – Contropilastrino: sono presenti due contropilastrini ai due lati del portale. Il numero di componenti per ogni elemento a sinistra dall'interno verso l'esterno segue lo schema:

CL (5) – P (5) – CT (4) – P (5) – CL (5) – CP (7) – CL (4)

Il numero di componenti per ogni elemento a destra dall'interno verso l'esterno segue lo schema:

CL (5) – P (4) – CT (1) – P (5) – CL (3) – CP (5) – CO (3)



Figura 5.12: Stato del portale di Sant'Agostino di Amatrice dopo il 29/01/2017, prima del trasporto in deposito delle macerie crollate. Le macerie si trovano a terra al di sotto degli appositi teli di protezione, parzialmente ricoperti dalla neve. Gentile concessione del Dott. Alessandro Betori UCCR-Lazio.

In una prima fase di ricognizione in deposito tutte le macerie relative alla chiesa di Sant'Agostino sono state schedate attribuendo a ciascuna un codice univoco. Il codice è formato dalla lettera B che individua l'ambiente B dell'hangar dove sono state depositate. Alla lettera segue il numero che identifica il bancale.

Ogni singolo pezzo sul bancale è stato numerato con un codice a due cifre a partire da 01. Ad esempio, la maceria B-43-13 è il pezzo n. 13 sul bancale n. 43 dell'hangar, sezione B. Sono state prodotte quindi le prime 'schede per bancale', nelle quali per ogni elemento si è assegnato un codice univoco, sono state riportate le dimensioni, il materiale e, in nota, le caratteristiche specifiche da esaminare successivamente.

A titolo esemplificativo, si riporta di seguito la scheda relativa al bancale 43²⁶¹. Una volta codificate tutte le macerie provenienti dalla chiesa di Sant'Agostino, è iniziata la fase di riconoscimento dei resti relativi al portale. Ad ogni elemento proveniente dal portale è stato attribuito il codice identificativo specifico (CL: colonna liscia, CT: colonna tortile, ecc.). Nel procedere in tale attribuzione sono stati analizzati a vista, registrati e documentati fotograficamente i dati relativi ai diversi materiali riscontrati, i segni di lavorazione, gli strati di tinteggiatura e le patine di alterazione. Sono stati così prodotti gli abachi dei materiali, dei segni di lavorazione, delle tinteggiature e delle patine. A ciascuna differente caratteristica è stato assegnato il codice relativo all'elemento considerato.

Dall'analisi a vista dei materiali sono stati distinti tre litotipi calcarei diversi. I segni di lavorazione sono stati studiati sia sulle superfici esposte, che sulle superfici di contatto fra un rocchio e l'altro delle colonne. Tre colorazioni apparentemente diverse di tinteggiatura sono state individuate sulle macerie delle colonne tortili²⁶². Sono stati identificati inoltre sei tipi di patina e tre tipologie di malte residue²⁶³. L'esame di ogni singolo componente del portale della chiesa di Sant'Agostino è stato documentato in apposite 'schede per maceria', in cui compare il codice identificativo del pezzo associato a tutti gli altri codici che identificano l'elemento del portale, il materiale e gli eventuali segni di lavorazione, tinteggiature, patine e residui di malta²⁶⁴.

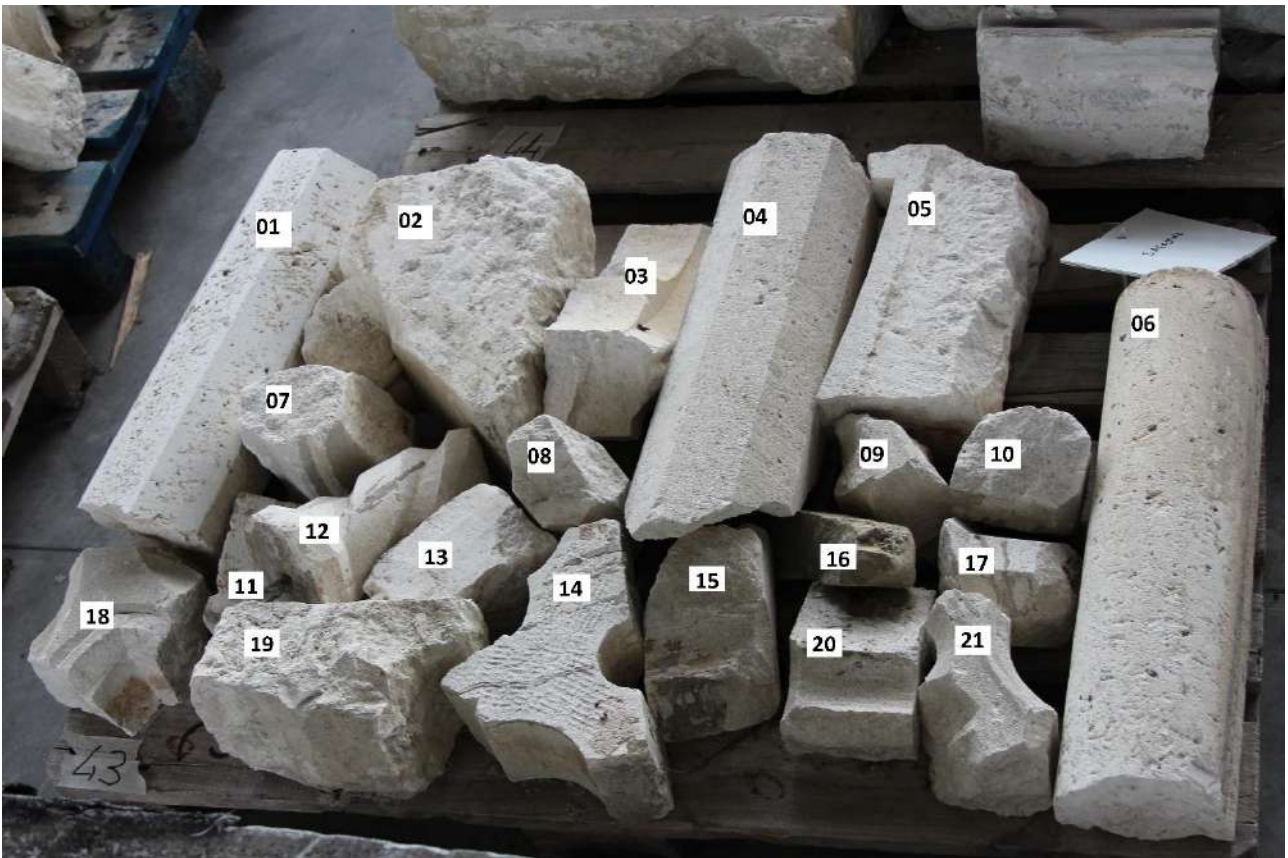
²⁶¹ Vedi pp.413-416

²⁶² I colori sono stati successivamente misurati con tecnica colorimetrica in situ.

²⁶³ Vedi pp.417-422

²⁶⁴ Vedi pp.423-424

HANGAR B – BANCALE n. 43 – 21 PEZZI



CODICE PEZZO	DIMENSIONI (cm)	MATERIALE	NOTE
B-43-01	L: 54 Ø: 16	Calcarea-Travertino	
B-43-02	33X24X17	Biocalcare	Residui di malta cementizia. Tracce di lavorazione.
B-43-03	36X13X12	Biocalcare	
B-43-04	L: 54 Ø: 16	Calcarea-Travertino	Tracce di lavorazione.
B-43-05	36X17X12	Biocalcare	Tracce di lavorazione.
B-43-06	L: 57 Ø: 14	Calcarea-Travertino	Residui di malta.

HANGAR B – BANCALE n. 43 – 21 PEZZI



CODICE PEZZO	DIMENSIONI (cm)	MATERIALE	NOTE
B-43-07	13X11X18	Biocalcare	
B-43-08	18X11X13	Biocalcare	Colature di malta cementizia.
B-43-09	11X8X12	Biocalcare	Colature di malta cementizia.
B-43-10	12X11X12	Biocalcare	Residui di malta cementizia.
B-43-11	20X16X8	Biocalcare	Residui di malta cementizia.
B-43-12	L: 27 Ø Capitello: 13 Ø Fusto: 11	Biocalcare	Colature di malta cementizia.

HANGAR B – BANCALE n. 43 – 21 PEZZI






CODICE PEZZO	DIMENSIONI (cm)	MATERIALE	NOTE
B-43-13	18X11X13	Biocalcare	
B-43-14	27X19X12	Biocalcare	Residui di malta cementizia. Tracce di lavorazione. Colature di malta cementizia.
B-43-15	18X14X12	Biocalcare	
B-43-16	20X7X7	Arenaria locale	
B-43-17	L: 13 Ø: 11	Biocalcare	Colature di malta cementizia.
B-43-18	18X13X12	Biocalcare	Residui di malta cementizia. Tracce di lavorazione.

HANGAR B – BANCALE n. 43 – 21 PEZZI






CODICE PEZZO	DIMENSIONI (cm)	MATERIALE	NOTE
B-43-19	26X13X18	Calcare compatto	Residui di malta cementizia.
B-43-20	21X14X8	Biocalcare	
B-43-21	18X9X13	Biocalcare	Colature di malta cementizia.

ABACO DEI MATERIALI COSTITUENTI IL PORTALE DELLA CHIESA DI SANT'AGOSTINO AD AMATRICE²⁶⁵





MATERIALE	CODICE IDENTIFICATIVO	MICRO-FOTOGRAFIA
<p>Calcarea Compatto Tipo 1</p> <p>Calcarea a struttura microcristallina. Simile al travertino solo in superficie.</p> <p>Frattura a scaglie.</p> <p>Microporoso.</p> <p>Colore bianco/avorio.</p>	CC1	
<p>Calcarea Compatto Tipo 2</p> <p>Calcarea a struttura macrocristallina (cristalli più grandi rispetto a CC1).</p> <p>Frattura scabra.</p> <p>Macroporoso.</p> <p>Colore bianco.</p>	CC2	
<p>Calcarea Compatto Tipo 3</p> <p>Calcarea a struttura microcristallina.</p> <p>Frattura scabra.</p> <p>Poroso con ricristallizzazioni calcaree secondarie.</p> <p>Colore bianco/grigiastro.</p>	CC3	

²⁶⁵ Le caratterizzazioni sono puramente visive; per tali ragioni le definizioni sono indicative e suscettibili di rettifica dopo approfondimento diagnostico strumentale. Le caratteristiche dei materiali sono state osservate sulle superfici di frattura disponibili, meno alterate delle superfici esposte e lavorate. Nella documentazione fotografica è stato utilizzato l'espedito della moneta come *marker* dimensionale, tipico degli studi di carattere geo-litologico.

ABACO DELLE TRACCE DI LAVORAZIONE DELLE SUPERFICI OSSERVABILI SULLE MACERIE DELLA CHIESA DI SANT'AGOSTINO AD AMATRICE

LAVORAZIONE	CODICE IDENTIFICATIVO	MICRO-FOTOGRAFIA IN LUCE RADENTE
<p>Tracce di lavorazione superficiale Tipo 1</p> <p>Lavorazione della superficie con solchi lineari paralleli.</p>	LS1	
<p>Tracce di lavorazione superficiale Tipo 2</p> <p>Lavorazione della superficie con solchi lineari incrociati, a rete.</p>	LS2	
<p>Tracce di lavorazione superficiale Tipo 3</p> <p>Lavorazione della superficie con incisioni lineari iso-orientate o a V.</p>	LS3	

ABACO DELLE TRACCE DI LAVORAZIONE DELLE SUPERFICI A CONTATTO FRA I ROCCHI DELLE COLONNINE OSSERVABILI SULLE MACERIE DELLA CHIESA DI SANT'AGOSTINO AD AMATRICE




LAVORAZIONE	CODICE IDENTIFICATIVO		MICRO-FOTOGRAFIA IN LUCE RADENTE
<p>Lavorazione a gradina</p> <p>Incisioni lineari profonde e parallele.</p>	LGR		
<p>Lavorazione a bocciarda</p> <p>Incisioni puntuali profonde.</p> <p>Incisioni lineari radiali.</p>	LBO		

ABACO DELLE TINTEGGIATURE RISCONTRABILI SULLE SUPERFICI DELLE MACERIE DEL PORTALE DELLA CHIESA DI SANT'AGOSTINO AD AMATRICE²⁶⁶

TINTEGGIATURA	CODICE IDENTIFICATIVO	MICRO-FOTOGRAFIA
Tinteggiatura 1	T1	
Tinteggiatura 2	T2	
Tinteggiatura 3	T3	




²⁶⁶ Tinteggiature riscontrate in tracce solo su elementi di colonne tortili (CT), discriminate per colorazioni apparentemente differenti.

ABACO DELLE PATINE RICONTRABILI SULLE SUPERFICI DELLE MACERIE DEL PORTALE DELLA CHIESA DI SANT'AGOSTINO AD AMATRICE

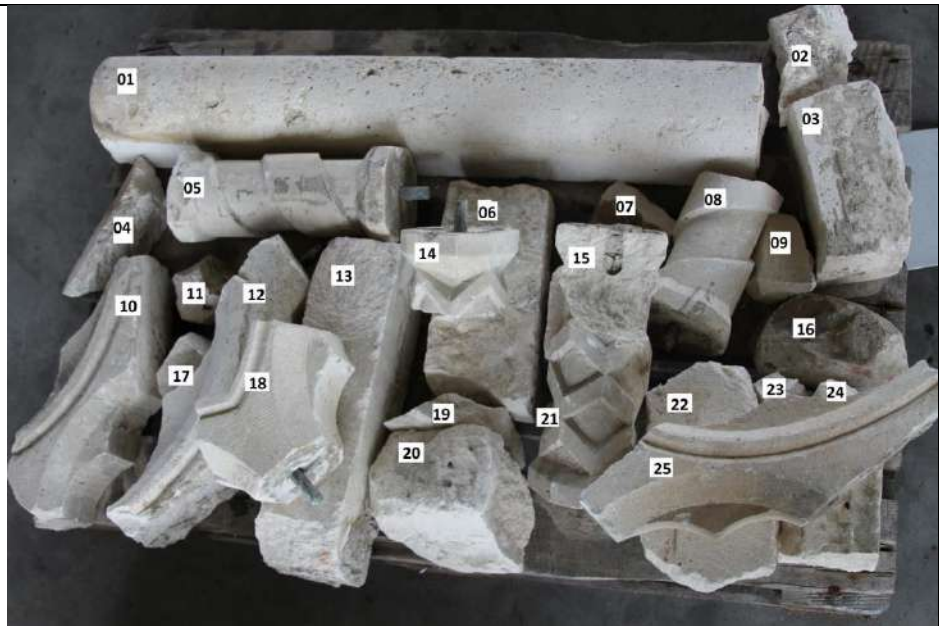
PATINA	CODICE IDENTIFICATIVO	MICRO-FOTOGRAFIA
Patina Bruna ²⁶⁷ Strato di alterazione	PB	
Patina Giallo/Grigia Strato di alterazione	PGG	
Patina Crema Strato di alterazione	PC	
Patina Grigio/Nera Strato di alterazione	PGN	
Patina Gialla Strato di alterazione Sospetta origine biologica	PG	
Patina Grigio/Verde Strato di alterazione Sospetta origine biologica	PGV	

²⁶⁷ Patina riscontrata sulle sole tracce di tinteggiatura residua delle colonne tortili (CT)

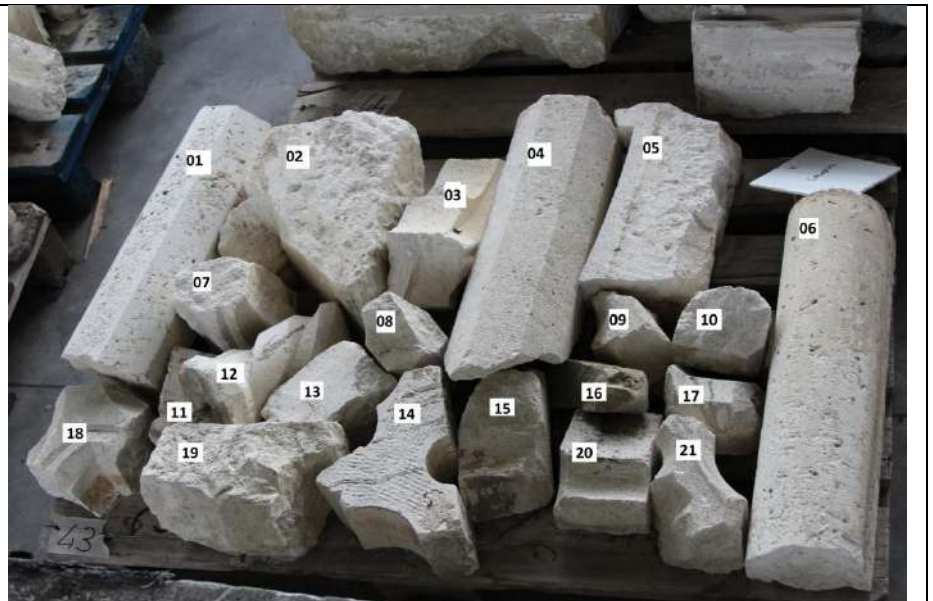
ABACO DELLE MALTE RICONTRATE IN TRACCIA SULLE MACERIE DEL PORTALE DELLA CHIESA DI SANT'AGOSTINO AD AMATRICE

MALTA	CODICE IDENTIFICATIVO	MICRO-FOTOGRAFIA
<p>Malta di calce e sabbia</p> <p>Legante: calce aerea</p> <p>Aggregati: sabbia e cocchiopesto.</p>	MCS	
<p>Malta bastarda</p> <p>Legante: calce e cemento</p> <p>Aggregati: arenaria locale, calcare, cocchio pesto, pozzolana.</p>	MB	
<p>Malta cementizia</p> <p>Legante: cemento</p> <p>Aggregati: sabbia</p>	MCem	

Scheda Pezzo B-07-01	Amatrice chiesa di S. Agostino o Portale
Elemento	CL
Materiale	CC2
Malte	MCS
Lavorazioni	LS3 LGR
Patine	PGG
<p>Note: L'elemento si presenta integro, per una lunghezza di 96 cm e un diametro di 14 cm.</p>	



Scheda Pezzo B-43-04	Amatrice chiesa di S. Agostino Portale
Elemento	CO
Materiale	CC1
Malte	MCem
Lavorazioni	LBO
Patine	/
<p>Note: Elemento non integro, ben visibile la zona di frattura. Misure: L: 54 Ø: 16</p>	



Scheda Pezzo B-54-02	Amatrice chiesa di S.Agostino Portale
Elemento	CT
Materiale	CC3
Malte	/
Lavorazioni	LS2
Patine	/
Note: Elemento non integro. Riporta tinteggiatura tipo 2 T2.	



Scheda Pezzo B-57-03	Amatrice chiesa di S.Agostino Portale
Elemento	L
Materiale	CC2
Malte	MCem
Lavorazioni	/
Patine	PGN
Note: Frammento del leone stiloforo lato potale destro.	



Riconoscimento degli elementi del rosone di Sant'Agostino

Il rosone della chiesa di Sant'Agostino di Amatrice, come già detto, è stato realizzato in occasione dei lavori di restauro della facciata del 1933 ed è completamente crollato assieme a tutta la sopraelevazione novecentesca con la scossa sismica del 24 agosto 2016.

L'elemento era costituito da un elemento circolare centrare collegato a un primo giro di tredici colonnine ottagonali confluenti all'estremità opposta su una cornice intermedia composta da archetti trilobati; da questa si diramavano radialmente ventisei ulteriori colonnine scolpite con otto diversi motivi decorativi, culminanti anch'esse in archetti trilobati replicati specularmente fino a raggiungere la circonferenza esterna dell'oculo. Tale circonferenza era a sua volta delimitata da una cornice decorata da una fascia piana su pseudomensole a volute e un tortiglione in aggetto rispetto al paramento della facciata.

Sulla base di documentazione fotografica anteriore al sisma sono stati codificati tutti gli elementi del rosone tramite una lettera maiuscola (Fig.5.13). Sono stati poi quantificati gli elementi affini presenti nel rosone prima del crollo:

- A: porzione del cornicione esterno decorato con motivo a tortiglione (26) ;
- B : porzione della cornice esterna comprensiva del motivo a tortiglione e della pseudomensole a voluta (26) ;
- C: porzione dell'anello lapideo per l'innesto degli archetti di raccordo delle colonnine più esterne (26) ;
- D: archetto trilobato di raccordo delle colonnine radiali esterne (26);
- E: fusto di colonnina decorata a motivi geometrici triangolari (4);
- F: fusto di colonnina decorata con avvolgimento a nastro con sezione grande (3);
- G: fusto di colonnina decorata con avvolgimento elicoidale (4);
- H: fusto di colonnina ottagonale (14) ;
- I: fusto di colonnina decorata a motivi geometrici a quadrati (4);
- L: fusto di colonnina decorata a motivi a punta di freccia (4);
- M: fusto di colonnina decorata con avvolgimento a nastro con sezione piccola (3);
- N: fusto di colonnina decorata a motivi geometrici romboidali (3);
- O: archetto trilobato di raccordo delle colonnine radiali interne (13);
- P: elemento dell'anello centrale del rosone (2).

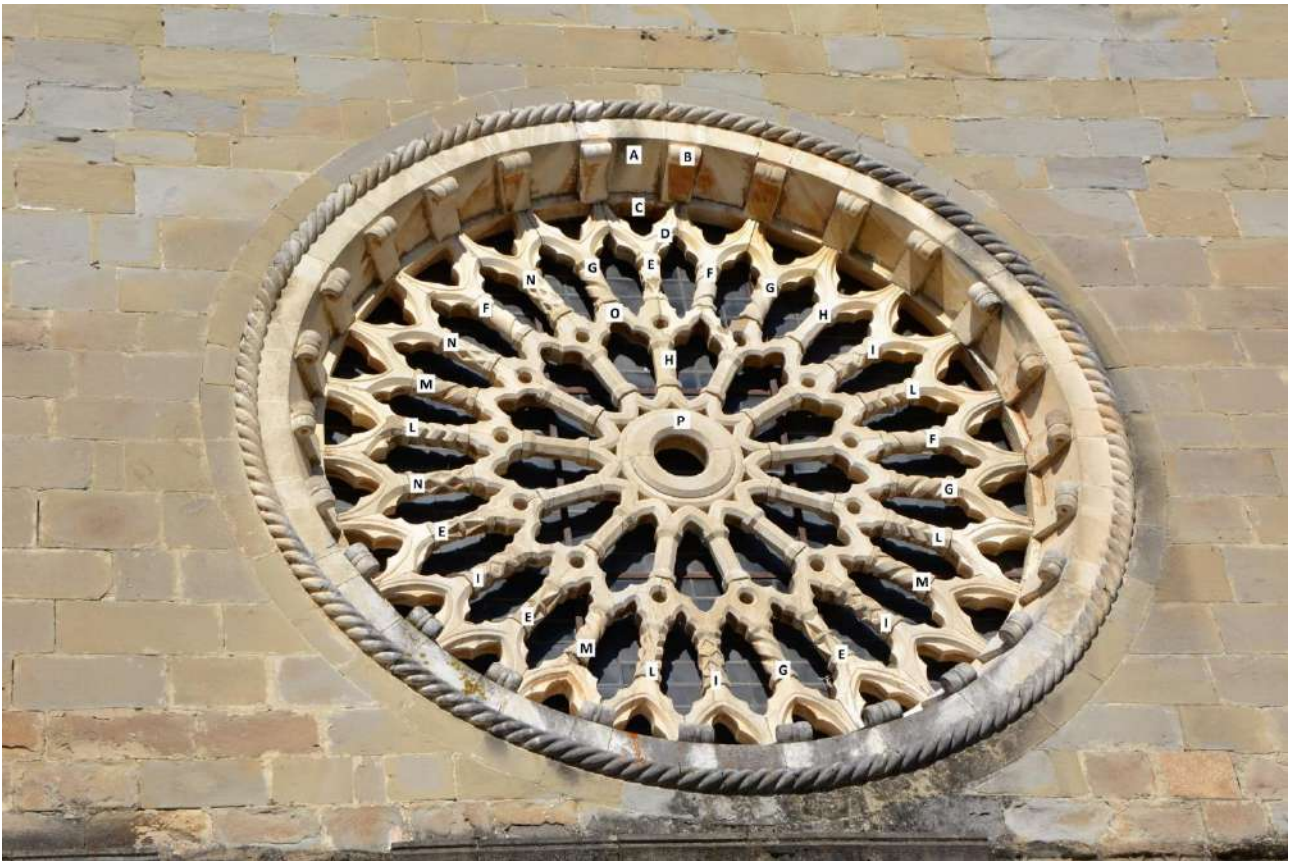


Figura 5.13: Rosone della Chiesa di Sant'Agostino prima del crollo del 24 agosto 2016, con relativa codificazione dei suoi elementi costituenti.

Ad ogni componente del rosone è stato attribuito il codice identificativo. Come per il portale, nel procedere in tale attribuzione sono stati analizzati a vista, registrati e documentati fotograficamente i dati relativi ai diversi materiali riscontrati, ai segni di lavorazione, alle patine di alterazione delle superfici e ai residui di malta presenti in tracce. Diversamente da ciò che si è osservato sul portale, le condizioni dei pezzi pertinenti il rosone risultano piuttosto omogenee. Il materiale con cui sono realizzati gli elementi è un calcare organogeno o biocalcare a cui è stata attribuito il codice BCA. Solo pochi elementi sono di materiale diverso, apparentemente marmo, codificato come MA²⁶⁸. Non sono stati rilevati evidenti segni di lavorazione delle superfici esposte riconducibili a definite tecniche. La quasi totalità dei pezzi del rosone esaminati è lavorato a gradina (LGR) sulle superfici di contatto ed è stato liscio sulle pareti esposte, talvolta sono visibili segni di bocciardatura (LBO). Sono state identificate quattro tipi differenti di patina: grigia (PGR), gialla (PG), rosso mattone (PRM) e rosata (PR). Le uniche malte residue osservabili sono di cementizie (MCem). Si propongono anche in questo caso gli abachi delle caratteristiche appena descritte²⁶⁹. L'esame di ogni singolo componente del rosone proveniente dalla chiesa di Sant'Agostino è stato documentato in apposite 'schede per





²⁶⁸ Tale riscontro viene più approfonditamente e ampiamente discusso nel paragrafo 5.3.4.

²⁶⁹ Vedi pp. 228-229





maceria' in cui compare il codice identificativo del pezzo associato a tutti gli altri codici che identificano lo specifico elemento del rosone: il materiale e gli eventuali segni di lavorazione, le patine e residui di malta. Si forniscono, a scopo esemplificativo, le schede di macerie relative ad alcuni pezzi del rosone²⁷⁰.

²⁷⁰ Vedi pp.430-434


ABACO DEI MATERIALI COSTITUENTI LE MACERIE DEL ROSONE DELLA CHIESA DI SANT'AGOSTINO AD AMATRICE

MATERIAL E	CODICE	MICRO-FOTOGRAFIA (superficie di frattura)	MICRO-FOTOGRAFIA (aspetto superficiale)
Biocalcare	BCA		
Marmo	MA		





ABACO DELLE TRACCE DI LAVORAZIONE RISCOINTRABILI SULLE MACERIE DEL ROSONE DELLA CHIESA DI SANT'AGOSTINO AD AMATRICE

LAVORAZIONE	CODICE IDENTIFICATIVO	MACRO-FOTOGRAFIA
<p>Gradina Incisioni profonde parallele (a gruppi di tre, probabili segni di gradina a denti larghi).</p>	LGR	 
<p>Bocciarda Bocciardatura delle superfici visibili.</p>	BO	 

ABACO DELLE MALTE RISCONTRABILI IN TRACCIA SULLE MACERIE DEL ROSONE DELLA CHIESA DI SANT'AGOSTINO AD AMATRICE

MALTA	CODICE IDENTIFICATIVO	MICRO-FOTOGRAFIA
Malta cementizia	MCem	

ABACO DELLE PATINE RISCONTRABILI SULLE MACERIE DEL ROSONE DELLA CHIESA DI SANT'AGOSTINO AD AMATRICE

PATINA	CODICE IDENTIFICATIVO	MICRO-FOTOGRAFIA
Patina Grigia Strato di alterazione.	PGR	
Patina Rosso Mattone Strato di alterazione.	PRM	
Patina Gialla Strato di alterazione.	PG	
Patina Rosata²⁷¹ Strato di alterazione.	PR	

²⁷¹ Riscontrata solo come strato di alterazione del materiale marmoreo (MA)

Scheda Pezzo B-07-01	Amatrice chiesa di S.Agostino Rosone
Elemento	A
Materiale	BCA
Malte	MCem
Lavorazioni	LGR
Patine	PGR
Note: Elemento Integro	



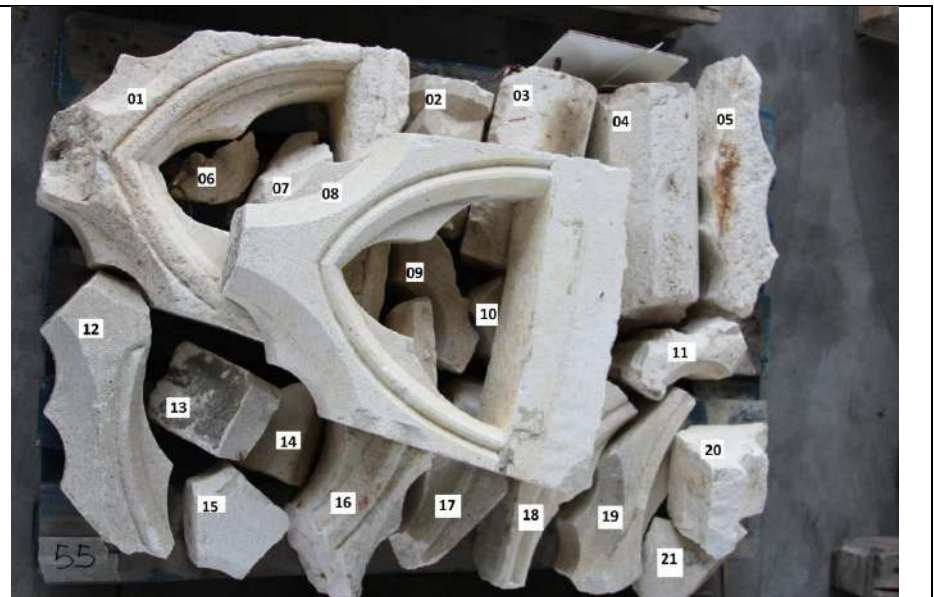
Scheda Pezzo B-07-06	Amatrice chiesa di S.Agostino Rosone
Elemento	B
Materiale	BCA
Malte	MCem
Lavorazioni	LGR
Patine	PRM
Note: Elemento integro	



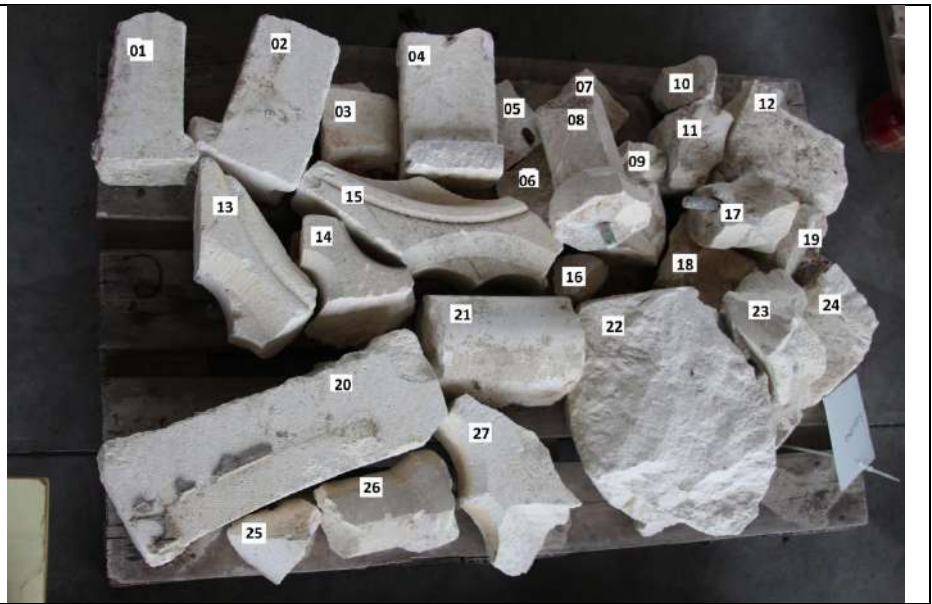
Scheda Pezzo B-07-13	Amatrice chiesa di S.Agostino Rosone
Elemento	C
Materiale	BCA
Malte	MCem
Lavorazioni	LGR
Patine	/
Note: /	



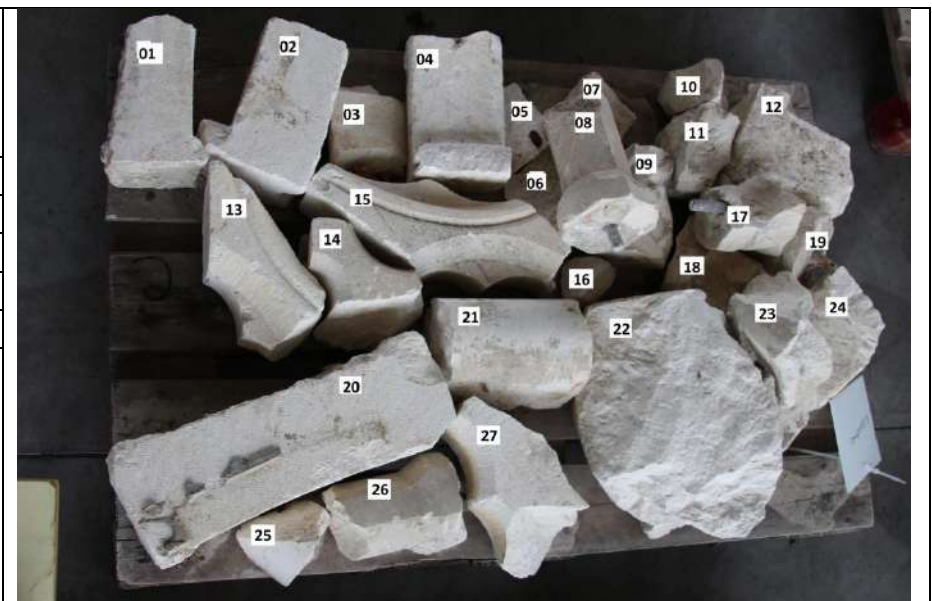
Scheda Pezzo B-55-08	Amatrice chiesa di S.Agostino Rosone
Elemento	D
Materiale	BCA
Malte	MCem
Lavorazioni	LGR LBO
Patine	PG
Note: Elemento integro	



Scheda Pezzo B-31-17	Amatrice chiesa di S.Agostino Rosone
Elemento	G
Materiale	BCA
Malte	MCem
Lavorazioni	/
Patine	/
Note: Elemento in forma di frammento con perno metallico esposto.	



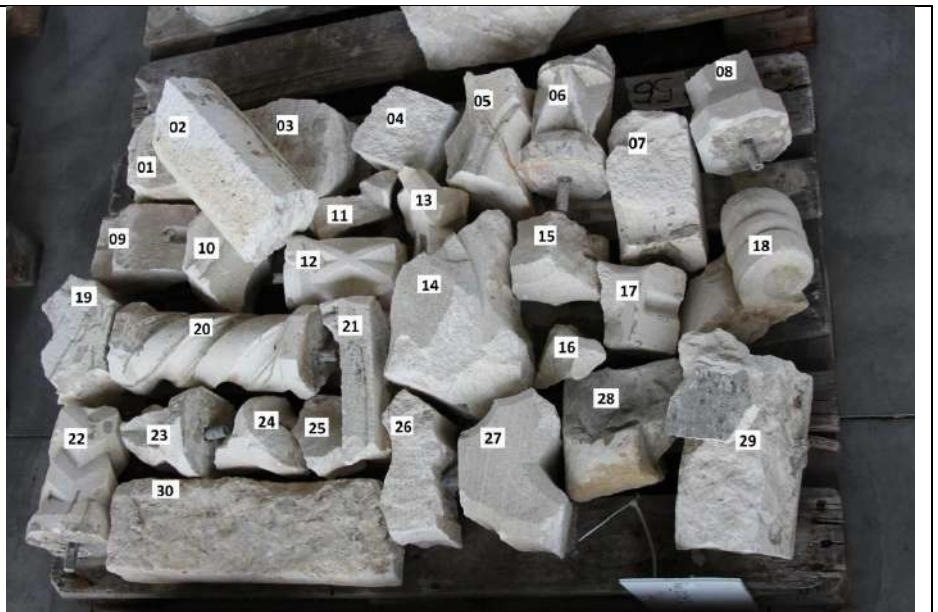
Scheda Pezzo B-31-08	Amatrice chiesa di S.Agostino Rosone
Elemento	H
Materiale	BCA
Malte	MCem
Lavorazioni	/
Patine	/
Note: Elemento in forma frammentaria con perno metallico esposto.	



Scheda Pezzo B-56-12	Amatrice chiesa di S.Agostino Rosone
Elemento	N
Materiale	BCA
Malte	MCem
Lavorazioni	/
Patine	/
Note: Elemento in forma frammentaria con perno metallico esposto.	



Scheda Pezzo B-56-19	Amatrice chiesa di S.Agostino Rosone
Elemento	O
Materiale	BCA
Malte	MCem
Lavorazioni	/
Patine	PGR
Note: Elemento in forma frammentaria ma ancora connesso tramite imperniatura metallica alla relativa colonnina.	



Scheda Pezzo B-56-14	Amatrice chiesa di S.Agostin o Rosone
Elemento	P
Materiale	BCA
Malte	/
Lavorazioni	/
Patine	/
Note: Elemento in forma frammentaria.	



5.3.3 Primi riscontri a seguito della catalogazione e delle indagini diagnostiche condotte sulle macerie relative al portale della chiesa di Sant'Agostino ad Amatrice

Tutti i dati registrati sulle schede di catalogazione delle singole macerie sono stati riorganizzati in un *database* così da consentire una prima lettura incrociata. Sono stati così individuati i gruppi di elementi costituiti da un medesimo materiale e con caratteristiche comuni. A partire da questi primi raggruppamenti è stato possibile progettare la campagna diagnostica di microscopia e colorimetria *in situ*.

Come già scritto nel precedente paragrafo, fra i resti del portale sono stati individuati tre differenti litotipi calcarei, denominati Calcarea Compatto Tipo 1, Tipo 2 e Tipo 3, con relativi codici assegnati, CC1, CC2 e CC3. Il litotipo maggiormente riscontrato tra i tre è il CC2, utilizzati nelle colonne lisce (CL), nel leone stiloforo destro e in parte delle colonne tortili (CT). Fra i tre litotipi, il CC2 appare il più pregiato, sia direttamente a vista che nell'analisi delle riprese in microscopia ottica *in situ* (Fig. 5.14). All'analisi microscopica il CC2 ha presentato una tessitura macrocristallina priva di impurità che attesterebbe un buon grado di resistenza e, allo stesso tempo, determina la particolare brillantezza e luminosità degli elementi, osservabili anche ad occhio nudo. Non è da escludere che il litotipo abbia un basso grado di metamorfismo che lo rende simile al marmo dal punto di vista visivo e meccanico, ma questa ipotesi potrebbe essere confermata solo mediante un'indagine petrografica in sezione sottile di più campioni²⁷².

La restante parte delle colonne tortili è stata realizzata lavorando il calcarea CC3. Il CC3, le indagini microscopiche *in situ* hanno chiarito le caratteristiche di questo calcarea microcristallino molto granuloso e poroso, con numerose ricristallizzazioni calcaree disposte nei suoi stessi pori (Fig. 5.14). Questi aspetti indicano una qualità del litotipo più scadente, meno resistente ma nel contempo più lavorabile. Il numero di pezzi associati a questo materiale, relativamente all'elemento 'colonna tortile', è superiore a quello dei pezzi di 'colonna tortile' in CC2. Tuttavia, considerando anche i dati dimensionali degli elementi, si evince che le quantità relative dei due materiali sono in proporzione di uno a uno. Ciò è dovuto al fatto che i rocchi in CC3, cadendo, si sono ridotti in numerosi frammenti, mentre quelli realizzati in CC2 sono più integri, ad ulteriore prova della loro maggiore resistenza rispetto al CC3. Considerando che le colonnine tortili sono crollate da entrambi i lati del portale in misura pressoché uguale (Fig.5.12), si può ipotizzare che sui due lati siano stati utilizzati due materiali diversi²⁷³, ovvero che una delle due colonne sia stata sostituita. L'ipotesi è che il CC3 rappresenti il

²⁷² In occasione della presente ricerca non è stato concesso il prelievo di materiale per analisi in laboratorio dalle macerie custodite in deposito.

²⁷³ A tal proposito sarebbe opportuna un'indagine *in situ* sull'ultimo rocchio ancora presente sul lato sinistro del portale della chiesa, sinora impossibile per motivi di sicurezza.

materiale utilizzato per i rocchi della colonna sostituita. Inoltre, i rocchi realizzati con il litotipo CC3 risultano scolpiti in maniera più grossolana rispetto a quelli ottenuti dal CC2 e presentano un passo di avvolgimento del tortiglione non costante, caratteristica che si evidenzia anche dall'esame visivo della documentazione fotografica pre-sisma sulla colonna tortile del lato destro (Fig.5.5). Anche i segni di lavorazione superficiale possono essere messi in relazione al materiale impiegato: di tipo LS1 sugli elementi in CC2 e di tipo LS2 su quelli in CC3.

Un ulteriore elemento che induce a ipotizzare la sostituzione della colonnina tortile destra è il fatto che entrambe presentino lo stesso verso di avvolgimento del tortiglione, quando normalmente l'andamento appare opposto sui due lati, come si può peraltro osservare per il portale già richiamato della chiesa di Sant'Agostino a Cittaducale (Fig.5.7). Non sono stati rintracciati documenti archivistici o fonti bibliografiche in grado di testimoniare l'intervento ipotizzato, tuttavia una fotografia del 1900, denuncia la mancanza della colonna tortile a destra (Fig.5.15)²⁷⁴. La colonna ricompare invece in una cartolina del 1925 (Fig.5.6). Dalle indagini dirette e dalla documentazione disponibile si può pertanto collocare un intervento di ripristino della colonna tortile tra il 1900 e 1925. La terza tipologia di calcare individuato, il CC1, costituisce i resti dell'unica colonna a sezione ottagonale, collocata all'estremità destra del portale prima del crollo. Questa unicità di materiale e di forma può indicare un altro intervento sostitutivo, sostenuto anche dal riscontro della presenza di malta a base di legante cementizio riscontrata in tracce sugli elementi lapidei, nonché sulla superficie del leone stiloforo nella zona di appoggio della colonna stessa. Tuttavia, nella fotografia del 1900 la forma della colonna sembra quella attuale, rispetto alla simmetrica colonna di sinistra che era invece circolare. Quindi quest'altro eventuale intervento di sostituzione di materiale dovrebbe essere datato prima del 1900.

Su molte dei resti delle colonne tortili sono state individuate tracce consistenti di tinteggiatura. Inizialmente, tali tracce sono state registrate come tinta di tre colori lievemente diversi, così come appaiono alla vista (T1, T2 e T3). Le indagini colorimetriche *in situ*, condotte sulle tre tipologie di tinta individuate, indicano però che il colore è riconducibile ad un'unica fase di tinteggiatura e che le differenze percepite visivamente sono il risultato di alterazioni cromatiche e della resa cromatica della medesima tinteggiatura stesa su diversi materiali (il CC2 e il CC3). Dal confronto delle coordinate di colore medie registrate sulle tre tinteggiature si evince infatti che sul materiale CC2 le due tinte presenti T1 e T3 differiscono sostanzialmente per il livello di saturazione del colore, condizione probabilmente dovuta alla differente esposizione delle superfici agli agenti atmosferici e all'irraggiamento solare²⁷⁵. La tinta T2, registrata solo su macerie costituite da CC3, differisce

²⁷⁴ L'immagine è pubblicata in VISCOGLIOSI 2016.

²⁷⁵ L'azione degli agenti atmosferici e della radiazione solare incidente favorisce una desaturazione del colore.

notevolmente dalle altre due per il valore della coordinata corrispondente al dato di luminosità. Tale condizione è probabilmente dovuta alla maggiore scabrosità superficiale del materiale che favorisce il fenomeno di diffusione della luce riflessa, incidendo notevolmente sulla coordinata di luminosità registrata che risulta maggiore (TAB. 5.1). Si può ipotizzare pertanto che la tinteggiatura sia stata data nello stesso momento su entrambe le colonne tortili al momento della realizzazione *ex-novo* della colonna sul lato destro, al fine di uniformarle cromaticamente.

TAB.5.1 _ Griglia di confronto tra i valori colorimetrici delle tinte T1, T2, T3										
Campione	Coordinate medie CIE-L*a*b*			Coordinate medie CIE-L*Ch°			Scarto tra i valori nello spazio L*Ch° rispetto alle coordinate della tinta T1 di riferimento			Simulazione del colore
	L*	a*	b*	L*	C	h°	ΔL^*	ΔC	Δh°	
T1	48	34	50	48	61	55	0	0	0	
T2	66	24	29	66	38	49	+18	-23	-6	
T3	48	20	39	48	44	62	0	-17	-7	

Note: gli scarti evidenziati in giallo sono quelli che ritenuti più significativi nella valutazione delle variazioni cromatiche in quanto superano in valore assoluto le dieci unità.
 La variazione tra T1 e T2 è data principalmente dalla componente C (saturazione) e dalla componente L* (luminosità). Essendo il ΔC un valore negativo si registra una variazione dovuta principalmente dalla desaturazione del colore di riferimento T1. La desaturazione può essere interpretata come effetto degli agenti atmosferici e dell'irraggiamento solare sullo strato di tinteggiatura. Il ΔL^* è un valore positivo e indica un incremento della luminosità rispetto al colore di riferimento T1. Tale incremento è attribuibile alla maggiore scabrosità della superficie su cui si registrano i dati relativi al colore T2. Le superfici scabre favoriscono il fenomeno della diffusione della luce incidente, che viene registrata dal colorimetro mediante valori di L* più elevati.
 La variazione tra T1 e T3 è data principalmente dalla componente C (saturazione), essendo un valore negativo si registra una variazione dovuta principalmente dalla desaturazione del colore di riferimento T1. La desaturazione può essere interpretata come effetto degli agenti atmosferici e dell'irraggiamento solare sullo strato di tinteggiatura.

Misure condotte mediante l'uso del colorimetro 3nh modello NH300.

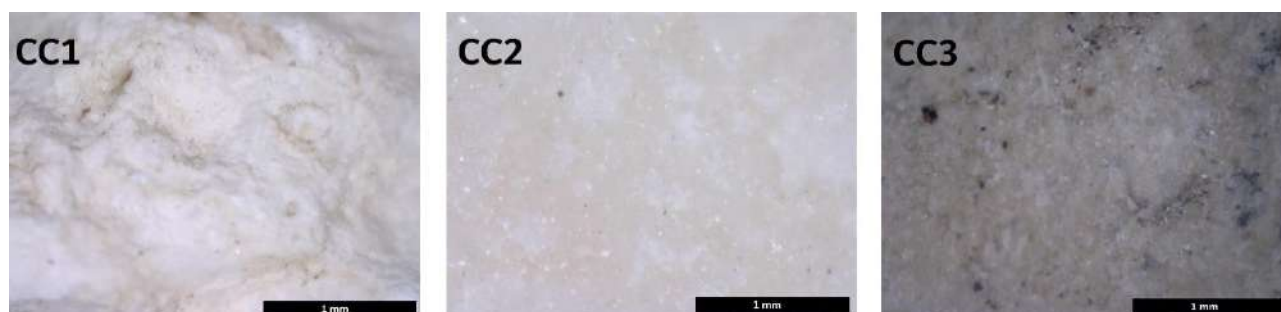


Figura 5.14: Immagini riprese con microscopio digitale portatile MADAPOL-USB Microcapture-Pro sulle superfici di frattura dei tre materiali riscontrati come costituenti le macerie del portale della chiesa di Sant'Agostino di Amatrice. CC1: misura condotta sulla maceria B6602, Calcare compatto microcristallino, privo di impurezze, dalla morfologia della superficie probabilmente di origine organogena. CC2: misura condotta sulla maceria B3101, Calcare compatto macrocristallino, privo di impurezze. CC3: misura condotta sulla maceria B6601, Calcare compatto microcristallino, con impurezze e ricristallizzazioni secondarie di calcite criptocristallina nella porosità aperta.

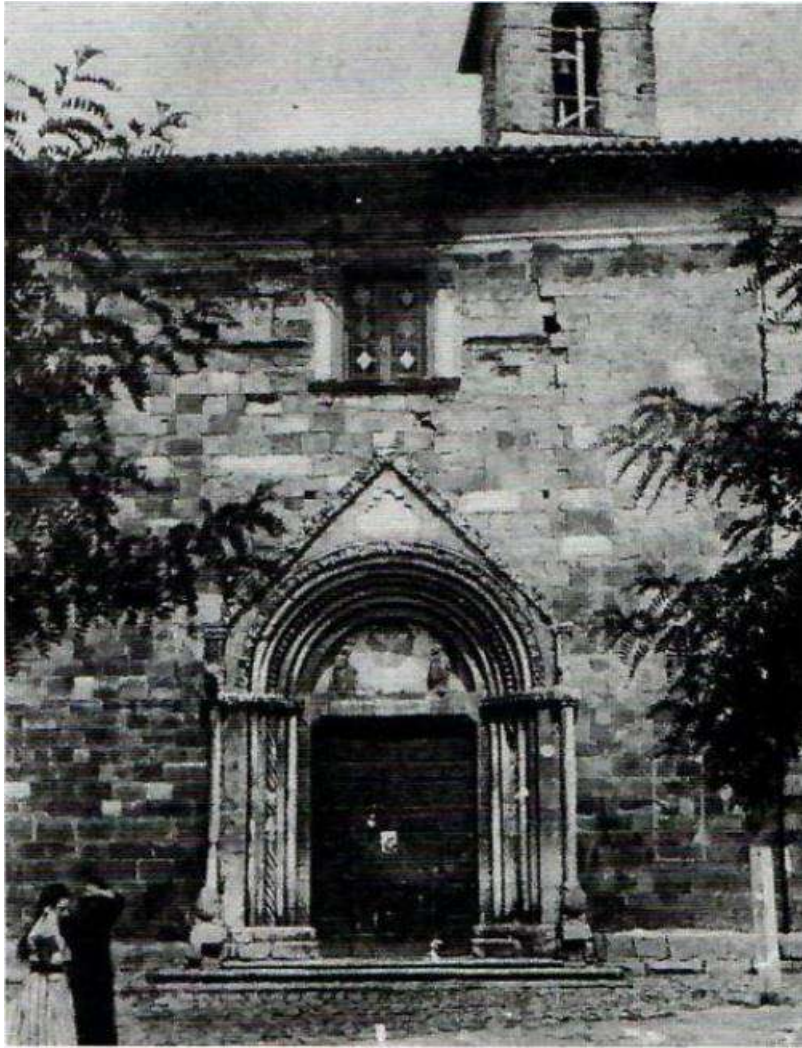


Figura 5.15: Fotografia del 1900 della facciata della Chiesa di Sant'Agostino di Amatrice (VISOGLIOSI 2016).

5.3.4 Primi riscontri a seguito della catalogazione e delle indagini diagnostiche condotte sulle macerie del rosone della chiesa di Sant'Agostino ad Amatrice

Per quanto concerne le macerie del rosone della chiesa di Sant'Agostino di Amatrice, dalla loro catalogazione e dall'esame delle caratteristiche materiche è emerso un dato inatteso. Di 217 pezzi catalogati, 200, anche alla luce delle indagini microscopiche *in situ* (Fig.5.16), sono costituite da un biocalcare fossilifero (BCA) e 17 da un marmo bianco (MA) con tonalità tendente al rosa, molto più pregiato²⁷⁶. Dall'analisi delle superfici i frammenti sembrano denunciare una maggiore consunzione dovuta a una più lunga esposizione agli agenti atmosferici. Anche la lavorazione delle parti scolpite e modanate sembra eseguita con maggiore cura dei dettagli rispetto a quella degli elementi in biocalcare (Fig.5.17). Sembrerebbe quindi che il rosone, realizzato nel 1933 in occasione dei lavori di restauro della facciata della chiesa, contenesse al suo interno elementi più antichi. Non sono stati rinvenuti documenti storici che testimonino l'esistenza di componenti di reimpiego, pertanto sinora si è potuto solamente elaborare un'ipotesi a riguardo, che andrebbe in futuro confermata o smentita mediante ulteriori ricerche storiche e indagini diagnostiche²⁷⁷.

Se si parte dall'ipotesi che esistessero degli elementi marmorei di un antico rosone ci si deve chiedere se questi fossero sufficienti a risalire al disegno originario per riprodurre in biocalcare tutti gli elementi mancanti. Dall'esame delle macerie sono pervenuti in deposito tre frammenti dell'elemento C, di cui uno integro e due probabilmente appartenenti ad un unico pezzo (Fig.5.18). Esistevano quindi almeno 2 elementi C, dai quali è certamente possibile risalire alla curvatura e quindi al raggio dell'intero rosone, che ne conteneva prima del crollo 26. 10 frammenti sono invece relativi all'elemento D, 2 dei quali sono pervenuti integri, quindi esisteva la possibilità di riprodurre la forma (Fig.5.17). Probabilmente, come attesterebbe l'analisi dei restanti 8 frammenti, questi potrebbero appartenere ad altri 4 elementi integri prima del crollo. Quindi è plausibile pensare che almeno 6 dei 26 elementi D del rosone fossero di reimpiego. Un altro elemento rinvenuto nella sua integrità è di tipo O, anch'esso indispensabile per riprodurre la cornice centrale tra i due giri di colonnine, composta da 13 elementi in totale. Tra le colonnine, sono state rinvenuti in deposito 4 fusti in materiale marmoreo, uno di tipo E, uno di tipo F e due di tipo N. Non è stato possibile identificare gli elementi di provenienza di altri 6 frammenti marmorei. In ogni caso, gli elementi per ridisegnare e riprodurre l'intero rosone nel 1933 erano probabilmente sufficienti. Gli unici elementi che non presentano componenti più antiche sono quelli pertinenti alla cornice esterna (A e B), agli archetti centrali (P) e

²⁷⁶ Sarebbe opportuna in futuro una caratterizzazione petrografica in microscopia ottica della sezione sottile del materiale per la sua caratterizzazione esatta e per l'eventuale individuazione della sua provenienza.

²⁷⁷ Ad esempio, sarebbe utile poter risalire alla provenienza dei materiali.

molte delle colonnine decorate. Tali elementi però non incidono sul disegno e sulle proporzioni generali del rosone.

Che sia esistito un rosone sulla facciata della chiesa di Sant'Agostino di Amatrice prima del 1933 non è certo. L'unica configurazione nota della facciata è quella con la finestrella rettangolare e la terminazione più bassa che si è già presentata nel presente capitolo (Fig. 5.15). Tuttavia, nel carteggio tra il parroco che promosse i lavori, il Comune di Amatrice e la Regia Soprintendenza dell'Arte Medievale e Moderna degli Abruzzi e del Molise si parla spesso di ricostruzione o di ripristino del rosone, probabilmente sulla scorta di considerazioni comparative²⁷⁸. La più antica testimonianza dell'aspetto della facciata della chiesa di Sant'Agostino è rappresentata da Edward Lear nel 1844, con la stessa configurazione delle fotografie novecentesche (Fig.5.19). Dal momento che non esiste documentazione grafica precedente, si può supporre comunque che la configurazione originaria della facciata potesse essere diversa, analoga a quella della facciata della chiesa di San Francesco, illustrata dallo stesso Lear nello stesso anno (Fig.5.19), richiamando la configurazione a coronamento piatto con rosone centrale tipica delle facciate ecclesiastiche abruzzesi²⁷⁹. I danni più ingenti prima del 2016 erano stati prodotti dai sismi che colpirono Amatrice ripetutamente dal 1639 al 1730. È possibile la parte superiore della facciata medievale comprensiva del rosone – il cui coronamento piano, svincolato dalle pareti longitudinali, risulta particolarmente vulnerabile, specie in presenza di sollecitazioni orizzontali – fosse crollata in epoca barocca e che alcuni frammenti residui fossero stati conservati o anche semplicemente murati nella chiesa o nell'adiacente convento. Se si guarda con attenzione la fotografia del 1900, in Fig. 5.15, si possono scorgere nella muratura ai lati della finestrella dei blocchi non in linea con il restante paramento murario, come se si fosse in passato prodotto un dissesto in facciata. La quota ipotizzata per il preesistente rosone risulterebbe piuttosto bassa, specie in relazione alle sue ampie dimensioni, tuttavia, si fa notare come anche il rosone della chiesa di San Francesco sia posizionato poco al di sopra del vertice della cuspide del portale (Fig.5.19).

²⁷⁸ Archivio Comunale di Amatrice, Busta 2.2/VII/7, Restauri Chiesa di S. Agostino 1933-1936. Istanza di Don Pio Mattei al Comune di Amatrice del 10 Febbraio 1933; Cit. "(...) *Questo sussidio, oltre che per altri lavori necessari, dovrebbe servire in modo particolare per completare la facciata, ricostruendo il rosone in travertino Aquilano ed elevando di almeno altri quattro metri il muro, secondo il progetto che verrà redatto da persona tecnica.*"; Copia del verbale di deliberazione emessa dal Podestà del Comune di Amatrice del 18 Febbraio 1933, oggetto: restauri alla Chiesa di Sant'Agostino; Cit. "*Il Commissario Prefettizio (...) concede, al Rev.mo don Pio Mattei, un contributo di lire 5000.00 per i lavori occorrenti alla Chiesa parrocchiale di S. Agostino per la sistemazione della facciata e ricostruzione del rosone in travertino*"; Copia del verbale di deliberazione emessa dal Podestà del Comune di Amatrice del 14 Dicembre 1934, oggetto: restauri alla Chiesa di Sant'Agostino; Cit. "*La Sovrintendenza comunica al Parroco di quella Chiesa di avere disposto per il ripristino del rosone sulla facciata della Chiesa e chiede il versamento di una parte del contributo assegnato per quei lavori*".

²⁷⁹ GAVINI 1928

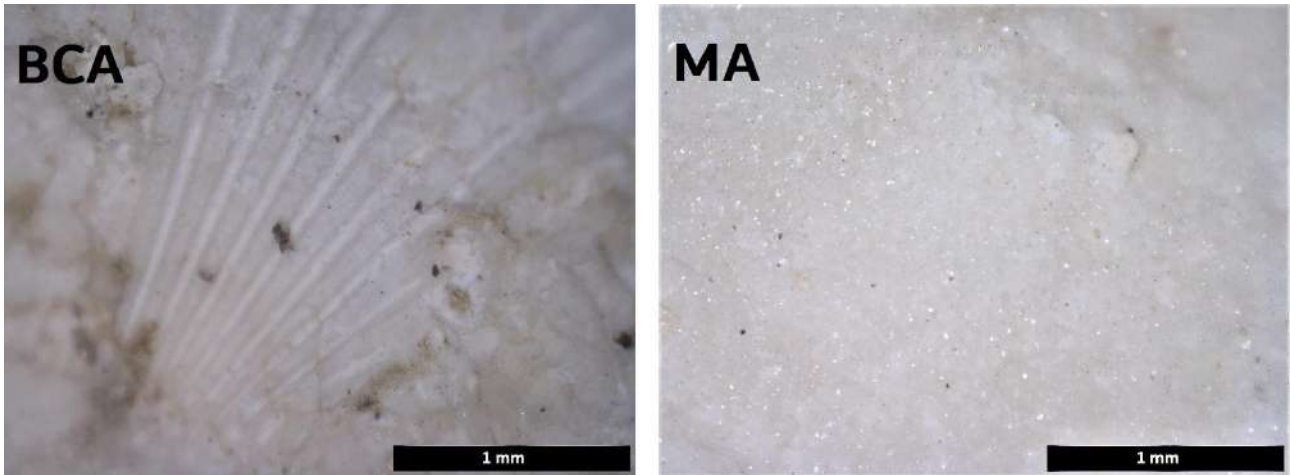


Figura 5.16: Immagini riprese con microscopio digitale portatile MADAPOL-USB Microcapture-Pro sulle superfici di frattura dei due materiali riscontrati come costituenti le macerie del rosone della Chiesa di Sant'Agostino di Amatrice. BCA: misura condotta sulla maceria B5401, biocalcare fossilifero, ben visibile un fossile di bivalve. MA: misura condotta sulla maceria B6404, Marmo bianco, privo di impurezze.



Figura 5.17: Bancale 55 su cui sono disposte macerie del rosone della chiesa di Sant'Agostino di Amatrice. Si noti come i due elementi di tipo D scolpiti con motivi decorativi trilobati siano evidentemente diversi dal punto di vista materico. Quello sovrastante è realizzato in biocalcare (BCA), quello sottostante è in marmo (MA). Si noti come anche i dettagli delle modanature e zone scolpite risultino molto più semplificate e piatte sull'elemento in biocalcare.

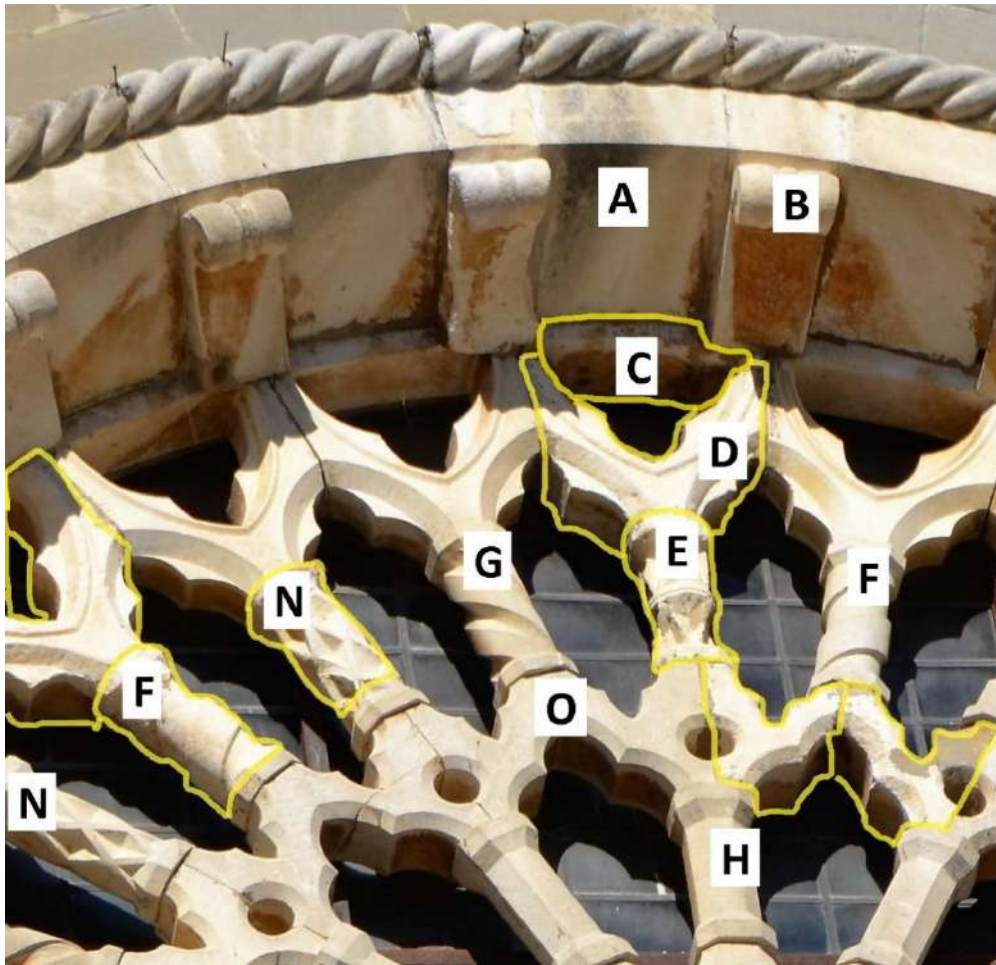


Figura 5.18: Immagine fotografica precedente al sisma del rosone della chiesa di Sant'Agostino di Amatrice. Le lettere identificano le tipologie di elementi così come sono state individuate tra le macerie in deposito. Contornati in giallo sono alcuni elementi riconoscibili come marmorei anche dall'esame dell'immagine fotografica.



Sant'Agostino XV sec.

E. Lear 1844



San Francesco XIII sec.

E. Lear 1844

Figura 5.19: Le chiese di Sant'Agostino e San Francesco a confronto nelle illustrazioni di Edward Lear.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- ACCONCI, PORRO 2018: Acconci A., Porro D.; *Rinascite attività di recupero e conservazione per il patrimonio reatino*; Electa, 2018
- ACCONCI, PORRO 2017: Acconci A., Porro D.; *Rinascite Opere d'arte salvate dal sisma di Amatrice e Accumoli*; Electa, 2017
- AMICI 2009: Amici C.M.; *Selinunte, Tempio C: analisi tecnica per la ricostruzione*, in *Palladio* 2009, n.44, pp. 1-30
- BRANDI 1957: Brandi C.; *Uno sgomentante puzzle risolto per amore dell'arte*, in *Corriere della Sera*, 27 Dicembre 1957
- CARBONARA 1982: Carbonara G.; *Gli insediamenti degli ordini mendicanti in Sabina*; in *Lo spazio dell'umiltà*, Atti del Convegno di Studi sull'edilizia dell'Ordine dei Minori, Fara Sabina, 1982; pp. 133-169
- CHERUBINI 2002: Cherubini L.C.; *Il recupero dei materiali crollati e la scelta della ricostruzione*, in *Bollettino d'Arte*, Volume Speciale, *La Chiesa di San Giorgio in Velabro a Roma. Storia, documenti, testimonianze del restauro dopo l'attentato del Luglio 1993*, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, 2002
- CUTARELLI 2019: Cutarelli S.; *Gestire l'emergenza: la Carta del Rischio del Patrimonio Culturale per il recupero delle opere d'arte nelle aree terremotate*; in *Archeomatica* n°3, Settembre 2019; pp.28-32
- DELPIANO, COCILOVA, ZANGROSSI 2019: Delpiano D., Cocilova A., Zangrossi F.; *Potentialities of the virtual analysis of lithic refitting: case studies from the middle and upper paleolithic*, in *Archaeological and Anthropological Science* n° 11, 2019; pp. 4467-4489
- DOGLIONI 2008: Doglioni F.; *Nel Restauro. Progetti per le architetture del passato*; Marsilio Editori, Venezia, 2008
- FABRIS ET AL. 2009: Fabris M., Frassine M., Bezzi A., Achilli V., Bregagnolo D., Menin A., Rosada G.; *Anastilosi virtuale di vari crolli della torre del castello di Onigo (treviso) rilevati mediante tecnologia laser scanning terrestre*. Atti 13° Conferenza ASITA, Bari 2009; pp. 1019-1024
- GAVINI 1928: Gavini I.C.; *Storia dell'architettura in Abruzzo*; 1928
- LEAR 1846: Lear E.; *Illustrated excursions in Italy*; 1846
- LI ET AL. 2017: Li, X., Wu, P., Shen, G.Q., Wang, X., Teng, Y.; *Mapping the knowledge domains of Building Information Modeling (BIM): A bibliometric approach*, in *Automation in Construction*, n° 84 2017, pp. 195-206
- MURPHY, MCGOVERN, PAVIA 2009: Murphy M., McGovern E., Pavia S.; *Historic building information modelling (HBIM)*, in *Structural Survey*, n°27, serie 4, 2009; pp. 311-327
- ROSSI 2015: Rossi M.C.; *Le vicende artistiche di Amatrice nel Medioevo. I portali di Sant'Agostino e di San Francesco*, in *Amatrice, forme e immagini del territorio*; Electa, 2015
- SANFILIPPO, ROMANO 2018: Sanfilippo G., Romano E.; *Terremoti, ruderi e ricostruzioni. Una proposta per la chiesa di Sant'Agostino*; in *Restauro Archeologico*, Vol. 27, 2018; pp. 66-91
- TOMASELLO, RUSSO, CASCONI 2018: Tomasello N., Russo G., Cascone S.; *H-BIM a case study in Catania*,

in Atti del XIV Congresso internazionale di riabilitazione del patrimonio, Matera 2018, pp. 52-63
VISCOGLIOSI 2016: Viscogliosi A; *Amatrice. Storia, arte e cultura*; Silvana Editoriale, Roma, 2016

RIFERIMENTI NORMATIVI

Direttiva MiBACT 12/09/16: *Procedure di rimozione e recupero delle macerie di beni tutelati e di edilizia storica.*

Direttiva MiBACT 23/04/15: *Procedure per la gestione delle attività di messa in sicurezza e salvaguardia del patrimonio culturale in caso di emergenze derivanti da calamità naturali.* Aggiornamento DM 12/12/13

Direttiva MiBACT 12/12/13: *Procedure per la gestione delle attività di messa in sicurezza e salvaguardia del patrimonio culturale in caso di emergenze derivanti da calamità naturali.*

REGIONE LAZIO - *Sisma 24 Agosto 2016 - Piano di gestione delle macerie di cui al D.L. 9 febbraio 2017 n°8 convertito il L. 7 aprile 2017 n°45*

FONTI D'ARCHIVIO

Archivio Comunale di Amatrice, Busta 2.2/VII/7, *Restauri chiesa di S. Agostino 1933-1936. Istanza di Don Pio Mattei al Comune di Amatrice del 10 Febbraio 1933.*

Archivio Comunale di Amatrice, Busta 2.2/VII/7, *Restauri chiesa di S. Agostino 1933-1936. Copia del verbale di deliberazione emessa dal Podestà del Comune di Amatrice del 18 Febbraio 1933.*

Archivio Comunale di Amatrice, Busta 2.2/VII/7, *Restauri chiesa di S. Agostino 1933-1936. Copia del verbale di deliberazione emessa dal Podestà del Comune di Amatrice del 14 Dicembre 1934, oggetto: restauri alla chiesa di Sant'Agostino.*

CONCLUSIONI

La ricerca condotta ed esposta in questa tesi si è posta l'obiettivo di definire e sperimentare buone pratiche operative per l'inserimento delle indagini diagnostiche nelle comuni prassi di gestione dell'emergenza sismica nel settore della conservazione dei beni architettonici. A partire da una definizione disciplinare della diagnostica per i beni culturali, cui si è giunti ripercorrendone la storia dalle prime sperimentazioni all'attuale impianto metodologico, è stato chiarito il rapporto tra indagini scientifiche e restauro. I risultati delle indagini scientifiche sono parte integrante del processo di conoscenza che precede il progetto di restauro architettonico e hanno una doppia valenza: fornire una diagnosi dello stato conservativo dei materiali e favorire la lettura dei valori documentali degli stessi.

Per motivi di ordine pratico sono state sinteticamente indicate nel primo capitolo le principali tecniche diagnostiche per lo studio e la conservazione dell'architettura storica²⁸⁰. Le tecniche diagnostiche sono state classificate in funzione degli effettivi ambiti di approfondimento in architettura, rispettivamente inerenti alle strutture, le malte, le superfici²⁸¹. In tal modo ci si è svincolati da catalogazioni più comunemente usate, basate sui principi di funzionamento delle tecniche o sulla tipologia dell'oggetto di studio e, quindi, sulla finalità di applicazione.

Nel primo capitolo, quindi, si è fornito un quadro storico del rapporto tra scienza e restauro e della sua evoluzione dalle prime ricerche sino ad oggi; a cui segue uno stato dell'arte sulle metodologie e tecniche di indagine diagnostica impiegate nel campo della conservazione dell'architettura. Si è definito il rapporto tra diagnostica e tecnologie e si sono approfondite le criticità di applicazione in fase emergenziale.

Nel capitolo secondo si sono definite le metodologie d'interazione fra le rilevazioni diagnostiche e le fasi di gestione dell'emergenza sismica. Alle procedure in uso per il rilievo dei danni sono state affiancate proposte operative finalizzate al controllo della vulnerabilità degli edifici colpiti e alla conoscenza delle tradizioni costruttive locali, mediante tecniche di analisi e documentazione a vista

²⁸⁰ Dato il carattere riepilogativo della elaborazione, si è deciso di riportare tale panoramica sintetica in un apposito elenco che vuole costituirsi quale guida pratica per la contestualizzazione delle tecniche proposte, citate o utilizzate nelle fasi sperimentali successive della ricerca.

²⁸¹ Lo studio diagnostico delle malte in architettura ha assunto una tale importanza da meritare una sezione interamente dedicata. La caratterizzazione scientifica delle malte fornisce preziose informazioni sul ruolo strutturale di questi materiali, quando si tratta di malte di allettamento o di riempimento dei nuclei murari. Contestualmente le caratteristiche delle malte rappresentano una fonte approfondita di informazioni sul cantiere di costruzione. Contribuiscono all'individuazione di differenti fasi costruttive della fabbrica e alla ricostruzione dei processi di produzione dei materiali dell'edilizia storica, con notevoli implicazioni sullo studio delle conoscenze tecnologiche costruttive tradizionali.

e tecniche d'indagine strumentale applicabili sia nell'immediata fase post-sisma che nelle successive fasi di messa in sicurezza degli edifici.

Le procedure di rilievo di danno sono state studiate e interpretate come occasione per l'affiancamento di pratiche operative di tipo diagnostico. Sono state elaborate proposte integrative dei sistemi schedografici destinati al rilievo del danno su chiese e palazzi sottoposti a vincolo e al rilievo del danno sull'edilizia ordinaria.

Per i beni monumentali, chiese e palazzi, sono state individuate una serie di tecniche diagnostiche efficaci in emergenza sismica per la valutazione della qualità costruttiva degli edifici²⁸². Tra le varie tecniche sono state selezionate quelle per il rilievo del danno, che devono garantire rapida esecuzione, eseguibilità a distanza e in condizioni di sicurezza per gli operatori.

Per la fase di messa in sicurezza, che rappresenta la prima occasione di avvicinamento diretto all'edificio danneggiato, sono state individuate altre tecniche che devono essere eseguite a contatto con gli elementi da indagare. L'applicazione di tali indagini favorisce la lettura delle caratteristiche connesse alla qualità costruttiva degli edifici, non direttamente visibili o difficilmente valutabili in condizioni di rischio.

La selezione delle tecniche proposte è stata eseguita non solo per le caratteristiche di esecuzione delle misure, adatte al contesto di applicazione, ma anche per la comprovata efficacia in situazioni simili, raccogliendo in letteratura esperienze pregresse. La qualità delle malte, come già detto, gioca un ruolo fondamentale ed è stato sottolineato come sia importante campionarle sistematicamente e studiarle in laboratorio mediante tecniche di microscopia ottica. Per favorire un'indagine estensiva sulle malte è stato elaborato uno schema riassuntivo dei loro requisiti minimi di qualità, in modo da minimizzare, nel momento dell'emergenza, le caratteristiche da esaminare sui campioni, e contestualmente massimizzare il numero di campioni esaminati in dato tempo. Questa prima lettura fornisce risposte di quasi immediata disponibilità, fermo restando che i campioni prelevati rimangono in ogni caso una fonte diretta per ulteriori approfondimenti conoscitivi.

Il lavoro di selezione delle tecniche destinate all'esame diagnostico dei beni monumentali in emergenza sismica ha fornito come prodotto finale un documento di orientamento denominato "Linee guida per l'applicazione delle tecniche diagnostiche in presenza di meccanismi di collasso". In queste linee guida si mettono in relazione ai meccanismi di collasso relativi a chiese e palazzi, allegati alle

²⁸² Nei beni monumentali il controllo della qualità costruttiva è stato ritenuto prioritario rispetto agli aspetti legati alla conoscenza di dettagli di caratterizzazione dei materiali, in quanto si presuppone una conoscenza storico-costruttiva più avanzata, fornita se non altro dalla strutturazione stessa dei sistemi schedografici di rilievo dei danni.

schede per il rilievo dei danni, le tecniche diagnostiche utili alla valutazione delle condizioni di vulnerabilità specifica per ogni meccanismo o alla verifica della presenza di presidi antisismici. Le linee guida costituiscono uno strumento utile di consultazione per l'elaborazione del progetto diagnostico, necessario soprattutto quando non siano immediatamente leggibili a vista le caratteristiche che condizionano la vulnerabilità della fabbrica, specie nei riguardi dei meccanismi di collasso attivabili con il sisma.

In affiancamento alle procedure di rilievo del danno su edifici ordinari storici è stato elaborato uno strumento opportunamente validato con specifiche applicazioni nel corso della ricerca. È stato prodotto un allegato alla scheda AeDES, con il quale censire i danni subiti dal tessuto edilizio storico diffuso, denominato “Allegato di Approfondimento Materico Diagnostico” (AMD). L'allegato è stato concepito e costruito in base alle osservazioni dirette del tessuto edilizio storico diffuso in diverse frazioni di Amatrice. Tale allegato ha lo scopo di documentare le caratteristiche del costruito storico in maniera sistematica e uniforme.

L'AMD è stato strutturato in tre sezioni rispettivamente dedicate a tematiche distinte. La prima di queste raccoglie dati di natura anagrafica e collega in tal modo l'allegato alla corrispondente scheda AeDES, costituendone parte integrante della documentazione destinata alle amministrazioni locali. La seconda sezione raccoglie dati di tipo analitico-descrittivo sulle caratteristiche materiche dell'edificio (tecniche costruttive murarie, qualità dei rivestimenti, delle superfici e delle strutture lignee) e dati architettonici relativi agli elementi caratterizzanti i fronti edilizi (tipologia di portali, cornici, elementi decorativi o altro). Queste informazioni, lette complessivamente, forniscono un chiaro quadro conoscitivo delle tradizioni costruttive locali e delle espressioni architettoniche ricorrenti che caratterizzano il territorio colpito, favorendo il processo di sensibilizzazione e attribuzione del valore documentale e identitario al tessuto edilizio storico diffuso, necessario a ridurre le ordinanze di demolizione o, in ogni caso, a documentare accuratamente le testimonianze storiche che, inevitabilmente, vi sono destinate per motivi di sicurezza. La terza sezione promuove ulteriori approfondimenti scientifici e conoscitivi, orientando il progetto diagnostico in funzione delle necessità derivanti dalle condizioni conservative in cui si trova l'edificio, derivanti dalla compresenza di danni prodotti dal sisma e da fenomeni di degrado pregressi.

Un ulteriore approfondimento della ricerca ha riguardato la rimozione controllata e la gestione delle macerie. L'attualità dell'argomento risiede non solo nell'importante dibattito in corso sul riutilizzo dei materiali per garantire la conduzione di un'economia circolare ma, più specificatamente, nelle nuove disposizioni di legge emanate in occasione del sisma in centro Italia del 2016 e 2017. Per la

prima volta, infatti, la gestione delle macerie è stata normata da una direttiva ministeriale che ha introdotto significative innovazioni²⁸³.

Tra queste di particolare interesse è la tutela delle macerie provenienti tanto dai beni tutelati quanto dal tessuto edilizio storico non tutelato. Le macerie derivanti dai crolli del tessuto edilizio storico, classificate per normativa come macerie di tipo 'B', dopo accurata selezione, documentata dall'alto mediante l'uso di droni²⁸⁴, sono destinate allo stoccaggio in ambienti individuati dalle amministrazioni locali. Le operazioni di selezione dei materiali sono particolarmente onerose, tuttavia, anch'esse rappresentano una grande occasione per lo studio e la caratterizzazione dei materiali della tradizione costruttiva locale. Pertanto, sono state avanzate alcune proposte per la conduzione di contestuali azioni finalizzate alla catalogazione e allo studio diagnostico di elementi selezionati, così da poter creare archivi digitali dei materiali della tradizione costruttiva locale²⁸⁵.

Il terzo capitolo ha introdotto la parte sperimentale della ricerca. È stata fornita una sintesi degli avvenimenti sismici intercorsi tra l'agosto del 2016 e il gennaio del 2017 in centro Italia, completa di un'analisi degli effetti macrosismici della sequenza. È individuato il territorio di Amatrice come luogo di applicazione della sperimentazione, fornendo informazioni sulla sua storia sismica e sulle sue caratteristiche geo-morfologiche e geo-litologiche. Tali informazioni sono preliminari ad una corretta lettura dei materiali indagati e utili all'interpretazione complessiva dei dati derivanti dalle indagini analitiche eseguite.

Il quarto capitolo è stato dedicato alla sperimentazione *in situ* delle proposte di analisi a vista dei materiali già enunciate nel capitolo secondo, in particolare alla validazione dell'AMD. La sperimentazione è stata condotta in alcune frazioni del comune di Amatrice: Capricchia, Cascello, Castel Trione, Collocetra, Cornillo Nuovo, Moletano, Prato, Preta, Retrosi e Scai.

La sperimentazione per la validazione sul campo dell'AMD non solo ha reso possibile una serie di miglioramenti e affinamenti della strutturazione dello strumento schedografico ma, soprattutto, ha permesso una raccolta sistematica dei dati rilevabili a vista sugli edifici storici.

²⁸³ Direttiva MiBACT 12/09/16: "Direttiva per le procedure di rimozione e recupero delle macerie di beni tutelati e di edilizia storica".

²⁸⁴ Un altro prodotto della presente ricerca è uno stato dell'arte sull'impiego di nuove tecnologie quali droni e robot utilizzate a supporto della gestione dell'emergenza sismica, elaborato raccogliendo le più significative esperienze condotte durante l'emergenza in centro Italia.

²⁸⁵ Tali archivi digitali, se basati su tecnologia GIS, potrebbero raccogliere su base cartografica, i dati relativi agli studi diagnostici sui materiali, nonché la documentazione grafica e fotografica da drone prodotta per le procedure di documentazione da drone delle fasi di perimetrazione e progressiva rimozione dei cumuli di macerie previste per legge.

La lettura globale delle informazioni raccolte ha consentito d'identificare e caratterizzare accuratamente la tecnica costruttiva tradizionale del luogo²⁸⁶. Inoltre, sono state individuate e documentate fotograficamente le caratteristiche formali architettoniche ricorrenti. Il lavoro svolto assume fra l'altro un valore testimoniale importante, dal momento che molti degli edifici censiti sono stati nel frattempo demoliti.

I dati forniti dalla ricerca dovrebbero essere tenuti in considerazione nelle future azioni di ricostruzione dei centri urbani al fine di migliorarne la qualità costruttiva e di massimizzarne l'indirizzo conservativo.

Nel delineare una sintesi delle caratteristiche costruttive tradizionali locali sono state evidenziate criticità legate alla particolare consistenza delle malte, per cui si è scelto di progettare una campagna diagnostica di analisi della composizione delle stesse, finalizzata ad una maggiore conoscenza dei materiali impiegati e delle fasi di produzione, utile anche a definire criteri di intervento di restauro con materiali compatibili ed efficaci. Durante i sopralluoghi con il rilevamento dell'AMD infatti, è stata sempre riscontrata a vista la natura terrosa delle malte di allettamento delle murature. L'esito per l'approfondimento diagnostico sugli edifici esaminati è stato quindi legato alla caratterizzazione della composizione delle malte di allettamento e di quelle di finitura individuate come tradizionali, chiaramente diverse anche ad occhio nudo.

I campioni prelevati per le indagini diagnostiche sono stati sottoposti a una serie di indagini di laboratorio quali l'osservazione in microscopia ottica con approfondimenti microanalitici, l'analisi in diffrazione dei raggi X, l'osservazione in microscopia elettronica. Incrociando i dati analitici con le informazioni sulla storia sismica e socioeconomica, nonché sulle caratteristiche geografiche e geologiche del territorio, è stata fornita un'interpretazione in merito all'uso dei materiali e alle loro lavorazioni nelle diverse tipologie di malte.

Si è evidenziata una sostanziale differenza di composizione degli impasti dovuta principalmente alla natura del legante: argilla nelle malte di allettamento e calce aerea in quelle di finitura. I dati forniti contribuiscono alla conoscenza del patrimonio storico architettonico colpito, potenziando una necessaria consapevolezza nei futuri interventi di restauro o ricostruzione. La comprovata natura terrigena delle malte di allettamento rappresenta ancor più che un elemento di vulnerabilità sismica

²⁸⁶ La tradizione costruttiva risulta essenzialmente basata sull'utilizzo della pietra arenaria locale nelle sue conformazioni geologiche naturali, quasi senza subire alcun tipo di lavorazione, combinando sapientemente blocchi naturalmente semi-squadrati con elementi di spessore più sottile ed elementi ciottolosi per i riempimenti dei vuoti nel paramento murario. Il tutto è allettato con terra cruda.

delle murature, tutto da dimostrare²⁸⁷, una sfida conservativa per gli interventi di restauro futuri. D'altronde, la tradizione costruttiva studiata è molto legata alla storia e alle caratteristiche geografiche e geologiche del territorio, e per tale ragione assume un doppio valore, documentale e per certi aspetti paesaggistico, perché in totale armonia con le caratteristiche naturali dei luoghi.

Il quinto e ultimo capitolo è stato dedicato alla sperimentazione di un metodo di catalogazione e di indagine diagnostica sulle macerie all'interno depositi temporanei. Un'altra novità introdotta dalle nuove disposizioni ministeriali sulla gestione delle macerie è infatti il ricovero delle macerie di tipo 'A', derivanti da crolli di beni tutelati, in depositi regionali designati. Prima di tali disposizioni esistevano solo i depositi per i beni mobili recuperati dalle macerie o spostati da edifici inagibili. La sperimentazione è stata condotta presso il deposito macerie di interesse culturale di Rieti. I materiali indagati sono stati gli elementi del portale e del rosone della chiesa di Sant'Agostino di Amatrice.

Le macerie trasportate in deposito vengono documentate come appartenenti a un edificio di provenienza, ma non esiste attualmente un sistema di catalogazione dei singoli pezzi. Si è quindi ritenuto importante proporre un sistema di catalogazione delle singole macerie in deposito²⁸⁸.

Sebbene con una serie di limitazioni, dovute all'assenza di un laboratorio diagnostico *in situ* e all'impossibilità di movimentare le macerie studiate, il modello proposto è stato sperimentato. La fase di catalogazione, comprensiva di rilevazione di caratteristiche archeometriche sia a vista che mediante l'uso di strumentazione portatile, ha portato ad alcuni avanzamenti sulle conoscenze dei due elementi architettonici in studio. Per quanto concerne il portale, sono stati identificati materiali attribuibili a uno o più interventi di sostituzione o ripristino di elementi originari dei quali non è stata

²⁸⁷ Le malte studiate non sono valutabili in base ai criteri di attribuzione dei requisiti minimi di qualità, in quanto la loro composizione non è confrontabile con quella delle più diffuse e studiate malte storiche. Le prove penetrometriche *in situ*, condotte durante i sopralluoghi sperimentali, hanno evidenziato una scarsa resistenza delle malte di allettamento che certamente ha contribuito in molti casi al verificarsi di dissesti o crolli. Tuttavia, l'analisi globale delle condizioni degli edifici ha consentito di verificare che le fabbriche con murature particolarmente accurate nella posa in opera non hanno subito danni ingenti, nonostante gli allettamenti in terra cruda. Dissesti gravi sono stati registrati invece su edifici in condizioni conservative precarie, dovute all'abbandono e all'assenza di manutenzione, e su edifici sottoposti a interventi manutentivi impropri, come per esempio il rifacimento di solai e coperture in cemento armato.

²⁸⁸ Il modello di catalogazione proposto ha caratteristiche innovative e tecnologiche perché si basa teoricamente non più sulla produzione di ulteriori schede, ma sulla realizzazione di un database di macerie virtuali. La proposta presuppone l'allestimento di laboratori interni ai depositi nei quali in primo luogo vengano prodotti modelli 3D di ogni maceria ricoverata. Ai modelli virtuali andrebbero implementate tutte le informazioni derivanti dall'analisi a vista e da indagini diagnostiche strumentali condotte in situ delle caratteristiche archeometriche di ogni maceria. Le caratteristiche archeometriche sono di fatto le uniche rilevabili da elementi ridotti in macerie. La documentazione delle macerie sarebbe quindi lo stesso modello virtuale implementato di tutti i dati rilevati. Tale catalogazione avrebbe di per sé un valore documentale e fornirebbe un valido strumento per eventuali scelte di ricomposizione dei pezzi nella loro sede originaria. Il processo di catalogazione porterebbe in ogni caso ad un avanzamento delle conoscenze sulla storia costruttiva e conservativa degli edifici di provenienza o di elementi di essi.

rintracciata documentazione esistente. Per il rosone, che dai documenti storici e dalla letteratura edita risulta realizzato in occasione di un restauro primo-novecentesco, sono stati identificati elementi antichi di reimpiego che aprono all'ipotesi dell'esistenza in forma frammentaria di un antico rosone, ripristinato mediante ricostruzione degli elementi mancanti.

La presente ricerca ha quindi prodotto una serie di utili proposte operative per l'introduzione dei controlli diagnostici nelle fasi di gestione dell'emergenza sismica, alcune delle quali sostenute da strumenti operativi validati sperimentalmente. Le fasi di sperimentazione delle procedure proposte hanno contribuito ad approfondire la conoscenza delle tecniche costruttive dell'edilizia storica del territorio di Amatrice, fornendo in particolare approfondimenti sulla caratterizzazione delle malte, che rappresentano un caso unico per le loro caratteristiche composizionali, e sui materiali costituenti il portale e il rosone della chiesa di Sant'Agostino di Amatrice e loro vicende storico-conservative.