

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile

A.A. 2018/2019



Tesi di Laurea Magistrale

Il castello di Calosso.

**Studi e indagini finalizzati alla conoscenza di
problemi conservativi**

Relatore:

Prof. Arch. Marco Zerbinatti

Correlatore:

Ing. Alessandro Grazzini

Candidato:

Domenico Leogrando

Dicembre 2019

Sommario

Sommario	3
1 Introduzione	5
2 Inquadramento del comune e del castello di Calosso	7
3 Storia del castello di Calosso	13
4 Mensiocronologia	19
4.1 Variazioni dimensionali dei laterizi	21
4.2 Criteri di misurazione per costruzione di curve mensiocronologiche	24
4.3 Osservazioni mensiocronologiche sul castello di Calosso	26
4.4 Analisi delle unità stratigrafiche identificate.....	28
5 Rilievo plano-altimetrico	37
5.1 Metodologia e strumentazione di rilievo.....	38
5.2 Descrizione dei locali rilevati.....	48
5.2.1 Castello: piano interrato	49
5.2.2 Castello: piano terra	59
5.2.3 Castello: piano primo	71
5.2.4 Castello: piano secondo.....	76
6 Diagnostica	83
6.1 Diagnosi del degrado e prove diagnostiche.....	84
6.2 Indagini diagnostiche eseguite	86
6.2.1 Metodo al carburo di calcio.....	86
6.2.1.1 Strumentazione utilizzata.....	87
6.2.1.2 Esecuzione della prova	88
6.2.1.3 Risultati ottenuti.....	94
6.2.1.4 Ulteriori metodologie di analisi	98
6.2.1.5 Considerazioni sulle prove.....	102

6.3	Termografia all'infrarosso.....	103
6.3.1	Scopo delle indagini.....	105
6.3.1.1	Umidità di risalita capillare.....	105
6.3.2	Modalità di esecuzione delle prove.....	109
6.3.3	Risultati ottenuti.....	111
6.4	Endoscopia e videoendoscopia.....	127
6.4.1	Indagine sull'intradosso della volta del salone	128
6.4.2	Indagine sull'estradosso della volta del salone	133
	Conclusioni	137
	Bibliografia	139
	Sitografia.....	140
	Allegati.....	141

1 Introduzione

La scelta di intraprendere un percorso di tesi riguardante un edificio storico è scaturita da un personale interesse verso il patrimonio edilizio di particolare valore architettonico.

L'inserimento all'interno del piano di studi del corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile di insegnamenti come "Progettazione tecnologica per il patrimonio edilizio" e "Recupero e conservazione degli edifici" è risultato utile per arricchire le conoscenze dei materiali e delle tecniche di costruzione diffuse in diversi ambiti regionali, con particolare attenzione sul territorio piemontese.

Tra le diverse fasi che si susseguono in un iter progettuale che riguardano il recupero e/o la ristrutturazione di un edificio storico, ho ritenuto la fase di attività di diagnostica architettonica e strutturale particolarmente interessante e necessaria di studi di approfondimento. Per approfondire la conoscenza di tali tecniche ho frequentato un workshop di diagnostica "Pietra, legno e calce negli edifici tradizionali: diagnosi e metodologie di intervento", organizzato dall'Associazione Parco Culturale Altalanga e tenutosi nel castello di Monesiglio nel 2018.

Un'occasione per applicare sul campo le nozioni teoriche e pratiche apprese si è presentata con la proposta di tesi incentrata sul castello di Calosso.

Il lavoro di tesi è partito dalla raccolta e ricerca in archivio di informazioni storiche sul comune di Calosso, fondamentali per identificare le fasi storiche che si sono susseguite nei secoli e poter ricostruire l'evoluzione degli organismi edilizi presenti all'interno del *castrum et villa de Calosso*.

Completato il rilievo plano-altimetrico del castello, con annesso giardino e cinta muraria, è stato possibile focalizzare gli studi e parte delle indagini diagnostiche sul salone collocato al piano terra del castello, caratterizzato da un'ampia volumetria e da una partizione interna orizzontale interessante sia dal punto di vista strutturale che compositivo.

Le tecniche di indagine diagnostica non distruttiva applicate al caso studio del castello di Calosso hanno compreso: termografia all'infrarosso, videoendoscopia, metodo al carburo di calcio.

2 Inquadramento del comune e del castello di Calosso

Il comune di Calosso appartiene alla provincia di Asti, in Piemonte, e si trova ubicato su un colle a quasi 400 metri sul livello del mare, in posizione dominante rispetto alle circostanti valli del Nizza e del Tinella. Gli abitanti, chiamati calossesi, ammontano a 1263.

L'abitato di Calosso si trova poco distante dai comuni di Costigliole e di Canelli e deve probabilmente il suo nome al gentilizio romano *Callocius* o *Callucius*¹.

Il paese viene menzionato per la prima volta nell'anno 960 all'interno di un documento che cita un tale Arimanno de Calocio in qualità di testimone di una permuta di terreni da parte di Brunego, vescovo di Asti tra il 934 e 964².

Il comune di Calosso, grazie alla sua collocazione sulla cima del colle, ha avuto una funzione strategica, in quanto domina la strada che collega Costigliole con Canelli, tratta percorsa già durante il Medioevo per le attività commerciali tra Asti e Liguria.



Figura 1. Vista satellitare su Calosso. (earth.google)

¹ (Castelli del Piemonte)

² (ilducabianco.it)

Percorrendo la strada provinciale SP 23a che collega Boglietto con Santo Stefano Belbo, è possibile imboccare la SP 41c e, successivamente, la SP 119 per raggiungere l'abitato di Calosso; in prossimità della destinazione è possibile notare tre diverse torri:

- il campanile della chiesa di San Martino;
- la torre cilindrica del castello;
- la torre piezometrica dell'acquedotto.

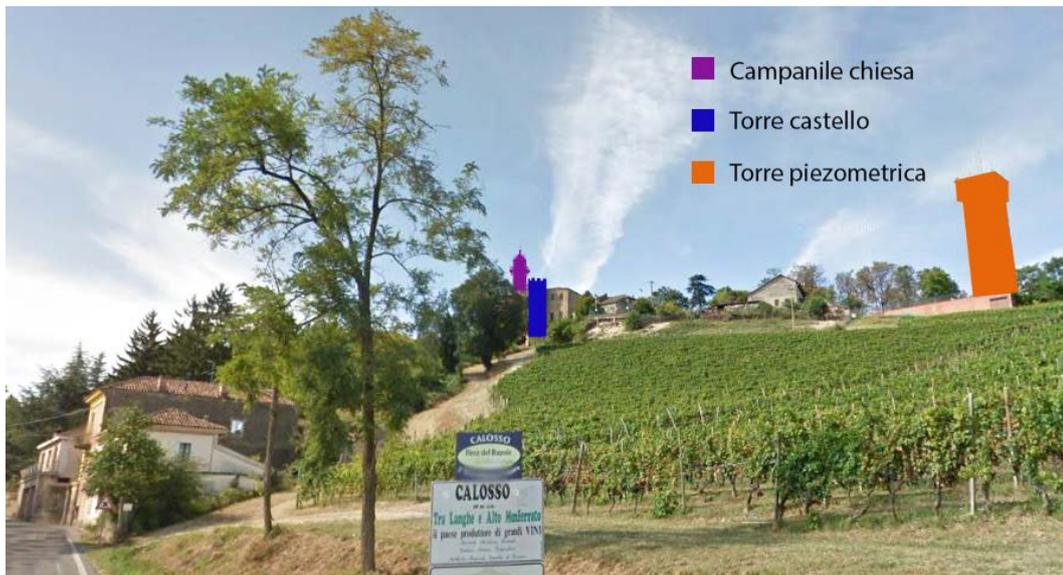


Figura 2. Vista su abitato di Calosso da SP 119. (earth.google)

Raggiungendo il complesso del Castello di Calosso da sud, percorrendo via Roma, si passa sotto un arco che collega una torretta a base cilindrica con un palazzo; la torre si presenta attualmente ridimensionata in altezza e con una copertura realizzata in coppi.

La torre e l'arco definiscono l'ingresso al complesso fortificato, un tempo protetto da mura, e potrebbero esser stati costruiti sul luogo dell'originaria *turris de porta*³, riutilizzando il materiale derivante dal suo abbattimento.

³ (Bordone)



Figura 3. Torrino d'ingresso al complesso fortificato.

Figura 4. Facciata chiesa San Martino.

Oltrepassando l'arco e continuando a percorrere la suddetta via si raggiunge piazza Castello, sulla quale si affacciano l'ingresso della chiesa di San Martino (figura 4), un'ala della costruzione chiamata *castel vecchio* e il portone di accesso al giardino del castello di Calosso (figura 5).

La chiesa di San Martino è stata ampliata nel corso dei secoli e risulta citata in documenti storici sotto il nome di *ecclesia castris*. Inoltre, fonti storiche la collocano all'interno delle mura del complesso fortificato già a partire dal 1203⁴.

L'insieme di edifici che compongono il castello di Calosso e il *castel vecchio* risultano molto diversi dall'antica fortezza, perdendo nel corso dei secoli i connotati ed elementi tipici degli edifici di tipologia militare e assumendo le caratteristiche di dimore signorili di campagna.

⁴ (Valente & Bracco)



Figura 5. Ingresso al giardino del castello, lato sud.

Il castello di Calosso è circondato in parte da un parco e risulta accessibile sia dal fronte nord, sia da sud, attraverso il portone, riportato nell'immagine soprastante, prospiciente la piazza su cui si affaccia la chiesa di San Martino. L'accesso dal lato nord del complesso fortificato è regolato da un portale di origini settecentesche, realizzato in legno. Il portale, con i suoi decori e intagli, risalta sulla severa cortina muraria cinquecentesca, ed è sormontato dallo stemma dei Roero, raffigurante tre ruote, e dei Gavigliani, raffigurante due rose divise da una fascia orizzontale (figura6).

Dietro al portone ligneo una rampa lunga più di 60 metri realizzata in acciottolato permette di superare un dislivello superiore ai 6 metri e di raggiungere il giardino, dal quale è possibile accedere al castello di Calosso e al *castel vecchio*. La facciata di quest'ultimo corpo di fabbrica è visibile percorrendo la rampa, risulta realizzata con la tecnica del bugnato ed è caratterizzata dalla presenza di un timpano. Le condizioni di conservazione dell'organismo edilizio denominato *castel vecchio* risultano preoccupanti in diverse sue parti; il fronte che si affaccia sul giardino ne è una testimonianza, in quanto presenta evidenti fenomeni di fessurazione ed un principio di ribaltamento della facciata stessa.



Figura 6. Portale d'ingresso fronte nord - stemma dei Roero e dei Gavigliani.

La cortina muraria che circondava la fortezza cinquecentesca, nonostante i danneggiamenti subiti nei secoli durante vari scontri armati, risulta in gran parte conservata. Sono infatti visibili le bocche da fuoco, feritoie e una posterla⁵. Tali mura delimitano l'area fortificata lungo i lati esposti a ovest, nord ed est.

Sul lato est del complesso fortificato le mura si congiungevano con una torre cilindrica, della quale, in seguito al suo crollo, attualmente sono riconoscibili la zona di intersezione tra la muratura della suddetta torre e la cortina muraria, e una posterla (figura 7). Quest'ultima permetteva il collegamento del livello più basso della torre crollata con il parco del castello e con la rete di cunicoli che attraversano le mura, dando accesso alla serie di feritoie e bocche da fuoco delle casematte, tutt'ora visibili sui fronti est e nord delle mura cinquecentesche.

⁵ Posterla: angusta apertura di accesso nascosta nelle mura, utilizzabile anche come ingresso o uscita di emergenza in caso di assedio.



Figura 7. Posterla, feritoie e bocca da fuoco sul lato est delle mura.

L'estensione delle mura sul lato est del complesso fortificato prosegue fino al castello e termina in corrispondenza della torre cilindrica, tutt'ora conservata, sviluppata su cinque livelli e caratterizzata da archetti pensili e merli guelfi.

Sul lato sud del complesso una stretta stradina e una scalinata separano il castello dalla chiesa di San Martino, rimaneggiata nel 1600. Come precedentemente citato, le origini della chiesa sono antecedenti a tale periodo storico, come testimoniato dall'aspetto di torre da difesa e dall'orientamento che caratterizzano l'abside.



Figura 8. Vista da via S. Martino sull'abside della chiesa e sul fronte est del castello.

3 Storia del castello di Calosso

Per diversi secoli il territorio di Calosso fu oggetto di scontri tra i molteplici poteri locali, i quali si contendevano il controllo della zona, importante dal punto di vista strategico dato che, come precedentemente accennato, si trovava sulla via del commercio tra la città di Asti e la Liguria.

I domini locali, nei primi anni del XIII secolo, durante lo scontro tra il marchese di Monferrato e il comune di Asti per il controllo della valle di Belbo, si schierarono dalla parte di Asti; tale preferenza fu espressa anche dai comuni di Canelli, Vinchio e di Mombercelli.

Gli abitanti di Calosso, nel 1202, si raccolsero in comunità e, sotto la rappresentanza dei consoli locali, giurarono fedeltà ad Asti, diventandone cittadini. Nello stesso anno la maggior parte delle quote del castello e della villa, denominati *castrum et villa*, venne ceduta dai signori di Calosso al comune di Asti. I *domini* locali, come risultato della suddetta cessione, ricevettero l'equivalente del castello e della villa in feudo.

In realtà, l'adesione al partito di Asti non fu unanime. Nel 1203 parte dei domini *de Calocio* espressero la loro fedeltà ad Alessandria; tale comune, nonostante facesse parte degli alleati di Asti, non nascose mai le sue mire sulla conquista e controllo dei castelli della valle del Belbo⁶. Tale evento fu la causa di uno scontro sanguinoso contro il comune di Asti, terminato con una prima pacificazione e rinuncia da parte di Alessandria al territorio di Calosso.

Durante il periodo successivo le notizie pervenute non sono particolarmente dettagliate. Nel 1225 il comune di Alessandria mostrò nuovamente il suo interesse su Calosso e conseguentemente si verificarono nuovamente scontri violenti tra i due comuni, che si risolsero con due dure sconfitte di Asti.

Per riuscire nell'intento di interrompere la controversia tra i due comuni, vennero chiamati i milanesi, i quali, nel 1227, si occuparono della redazione di un arbitrato in cui si decretava che *castrum et villa de Calosso* venissero ceduti ad Asti.

⁶ (Valente & Bracco)

L'inizio del XIV secolo segnò l'inizio di sanguinosi scontri tra i Solaro, facenti parte della fazione dei guelfi, e i De Castello, ghibellini. Il primo scontro vide i De Castello vincitori; nel 1304 i ghibellini furono cacciati da Calosso e costretti a rifugiarsi nelle zone limitrofe.

Tra il 1304 e il 1308 l'intero comune di Calosso fu interessato da attacchi da parte dei ghibellini; queste spedizioni erano caratterizzate da un'acuta violenza e non si limitavano a razzie del bestiame e alla cattura di ostaggi. Infatti, i malcapitati di queste incursioni subirono violenze ed estorsioni di denaro.

Il protrarsi di questi scontri tra guelfi e ghibellini contribuì a causare ulteriori distruzioni nel comune di Calosso. Nel 1318 un'incursione dei ghibellini, capeggiati dai De Castello, provocò la devastazione del maniero, ricostruito celermente nei seguenti anni.

Fonti storiche riportano che nel XIV secolo il complesso del castello di Calosso passò sotto il controllo e possesso della famiglia Roero di Cortanze, appartenente all'aristocrazia bancaria della zona dell'astigiano. Nel 1387 documenti storici citano il castello tra i possedimenti di Aimonetto Roero, successivamente incluso nei beni costituenti la dote di Valentina Visconti, consorte di Luigi I di Valois-Orléans⁷.

La prima metà del XVII secolo rappresentò uno dei periodi più difficili per il complesso fortificato di Calosso, in quanto si susseguirono continue e svariate guerre per il predominio sull'area del Monferrato e, in seguito, la lotta civile tra principisti e madamisti.

L'obiettivo di conquista del Monferrato da parte di Carlo Emanuele di Savoia trovò l'opposizione della Spagna. Il territorio di Calosso, insieme ai limitrofi comuni di Cortemilia e San Marzano, venne conquistato nel 1616 dagli Spagnoli sotto il comando del marchese di Mortara e con il rinforzo di mille Alemanni. La conquista di queste zone del Piemonte segnò anche l'incarceramento del feudatario Roero, rilasciato solo dopo il pagamento del riscatto richiesto⁸.

⁷ (Castelli del Piemonte)

⁸ (Bordone)

I Savoia ripresero il controllo di Calosso nel 1617, in seguito all'abbandono del territorio di Canelli da parte degli Spagnoli.

Il complesso fortificato del castello di Calosso subì ulteriori danneggiamenti durante la guerra civile tra i principisti e i madamisti. Queste due fazioni, subito dopo la morte prematura di Vittorio Amedeo I nel 1637, si contesero il potere sul ducato di Savoia, oggetto di ostilità tra Francia e Spagna. Questa controversia di origine familiare prese il nome di guerra civile piemontese⁹.

I madamisti, filofrancesi, si schierarono dalla parte della vedova del duca, la "madama reale" Maria Cristina, sorella del re di Francia Luigi XIII e reggente del ducato per i figli. I principisti, filospagnoli, appoggiarono i fratelli del duca defunto, Tommaso di Savoia, principe di Carignano, e il cardinale Maurizio, i quali si opposero alla reggenza della cognata, contando sul sostegno della Spagna.

La città di Torino venne assediata e conquistata dagli Spagnoli nel 1639, ma nell'anno successivo i Francesi e i madamisti riuscirono a recuperarne il controllo. Intanto la guerra divampava in tutto il Piemonte¹⁰.

Il comune di Calosso, nel marzo 1642, fu conquistato dalle truppe francesi comandate dal colonnello Catalano Alfieri, che riuscì nell'impresa a capo di duecento cavalieri francesi, ottenendo anche un ricco bottino di grano e vino. I madamisti, con l'intento di difendere la fortezza e resistere ad ulteriori attacchi da parte degli spagnoli, fecero innalzare imponenti terrapieni e palizzate.

Gli attacchi da parte dei principisti non si fecero attendere a lungo e furono guidati dal conte Broglia, a capo della cavalleria del principe Tommaso di Savoia e supportato anche dalle truppe di Nizza e di Asti. Dopo un susseguirsi di scontri i Francesi, per evitare un ulteriore intervento da parte degli Spagnoli, abbandonarono definitivamente il complesso fortificato del castello di Calosso dopo averne distrutto una parte.

Tutti gli scontri precedentemente elencati hanno contribuito, molteplici volte nel corso dei secoli, a danneggiare e distruggere porzioni più o meno estese della

⁹ (it.wikipedia.org)

¹⁰ (Bordone)

fortezza di Calosso. Di conseguenza, i diversi lavori di ristrutturazione hanno cambiato le caratteristiche degli edifici.

A partire dal XIV secolo la famiglia dei Roero di Cortanze, proprietari del castello, si occuparono dei necessari interventi di recupero e ristrutturazione. Il loro radicamento all'interno del comune di Calosso fu così profondo da farne rinnovare l'investitura dal XIV al XVIII secolo.

Tra i più importanti interventi apportati, risulta interessante quello effettuato nel 1683, che interessò la trasformazione in oratorio della camera del castello in cui morì, durante una visita pastorale nel 1592, il beato Alessandro Sauli, vescovo di Pavia, città dalla cui diocesi dipendevano Calosso e altre località astigiane limitrofe¹¹. Successivamente, la camera del castello in cui si spense Alessandro Sauli venne convertita in cappella e, in ricordo della scomparsa del vescovo, ogni 11 ottobre si celebra la Santa Messa in suo ricordo¹².

I successivi interventi realizzati hanno determinato la quasi totale perdita degli stilemi e delle caratteristiche difensive del castello, comportando la trasformazione del complesso fortificato in dimora signorile della famiglia Roero.

Della struttura originaria della fortezza restano le mura cinquecentesche, con feritoie e bocche da fuoco identificabili lungo le facciate esposte a nord ed est, il portale settecentesco sormontato dallo stemma dei Roero e dei Gavigliani, visibile sul fronte nord delle mura, e la torre angolare cilindrica, posizionata tra il castello e la chiesa di San Martino.

Nel 1739 la cerimonia di investitura segnò il passaggio del feudo al marchese Ercole Roero di Cortanze; nel 1748 fu investito il figlio unico Cesare Massimiliano e, nel 1768, l'investitura interessò il nipote Tommaso.

Terminato il regime feudale, nel XVIII secolo il complesso del castello di Calosso venne ereditato dalla contessa Felicita Roero, legata da matrimonio alla famiglia Gavigliani.

¹¹ (Bordone)

¹² (comune.calosso.at.it)

Successivamente i possedimenti passarono dalla famiglia dei Gavigliani ad un ramo dei conti Gloria, di origini torinesi. Questa famiglia si occupò della realizzazione di diversi lavori di manutenzione, riguardanti anche i muri di cinta¹³.

Nell'anno 1983 la morte del Conte Pio Gloria segna il passaggio delle proprietà all'unica erede: la signora Anna Ferretti, vedova Ballardore Pallieri¹⁴.

Tutte le vicende susseguitesesi nel corso dei secoli hanno contribuito a consolidare l'idea che l'insieme di edifici del complesso fortificato di Calosso siano stati resi sempre più autonomi l'uno dall'altro, a tal punto da far perdere quasi del tutto la percezione di una precedente unità.

L'edificio che ha rappresentato la dimora di campagna della famiglia dei Roero non ha mai perso la nomea di castello, nonostante siano venute meno la maggior parte delle sue fortificazioni.

Anche la torre, collocata tra il castello e la chiesa di San Martino, è stata ricostruita sulle basi di una più antica, molto probabilmente seguendo gli stilemi della torre (*turris de porta*) che controllava la porta di accesso al castrum medievale di Calosso, quest'ultima distrutta e ricostruita con le sembianze di un torrino.

L'intenzione degli attuali proprietari di valorizzare e promuovere attività ed eventi legati alla conoscenza del valore storico, culturale e artistico del territorio è testimoniata dall'inserimento del castello di Calosso all'interno di diverse associazioni, ad esempio:

- Associazione Amici di Castelli Aperti, che raccoglie i proprietari privati di beni soggetti a vincolo;
- ADSI, Associazione Dimore Storiche Italiane, che si occupa di portare alla conoscenza del grande pubblico i beni visitabili.

¹³ (Valente & Bracco)

¹⁴ (Bordone)

4 Mensiocronologia

La mensiocronologia è uno strumento empirico utilizzato per datare i resti materiali, a partire dalle dimensioni dei laterizi posti in opera.

Lo studio delle dimensioni dei mattoni in laterizio ha rappresentato, negli ultimi decenni, un campo d'indagine innovativo e con una diffusione sempre crescente nell'ambito dell'archeologia medievale e postmedievale¹⁵.

L'utilizzo di tale strumento ha permesso di costruire sequenze tipologiche di murature per ambiti subregionali, obiettivo degli studiosi che si occupano di archeologia dell'edilizia e dell'architettura.

La mensiocronologia rappresenta un metodo di datazione assoluta degli elementi murari, messa a punto dall'ISCUM (Istituto di Storia della Cultura Materiale di Genova), utilizzabile sia per laterizi che per i materiali lapidei.

Questo metodo di datazione fonda i suoi principi su elaborazioni matematiche poco complesse e risulta meno oneroso e più pratico rispetto ad altre metodologie utilizzate per la datazione dei laterizi, come la termoluminescenza. Inoltre, tale metodologia risulta non distruttiva, in quanto non richiede un prelievo di un campione di muratura da analizzare.

La metodologia mensiocronologica si basa sulla misurazione dei mattoni di una serie di edifici collocati all'interno del medesimo ambito territoriale, la cui datazione sia già nota attraverso altre tipologie di indicatori cronologici.

In questo modo è possibile collocare nel tempo le misure ottenute dai campioni di laterizi, al fine di risalire alle dimensioni che i mattoni hanno assunto nei vari intervalli cronologici¹⁶.

¹⁵ (Archeologia dell'architettura, XII, 2007)

¹⁶ (Archeologia dell'Architettura, IV, 1999)

Le curve mensiocronologiche illustrano il risultato delle indagini e delle misurazioni svolte sui laterizi. Tali curve rappresentano la variazione dimensionale delle produzioni di laterizio nel corso dei secoli e risultano applicabili solo nell'ambito regionale o subregionale in cui sono stati svolti i rilievi.

Il metodo di indagine si basa sulla misura dello spessore, della lunghezza e della larghezza dei mattoni presenti nell'US (unità stratigrafica) analizzata. La relazione che intercorre tra le dimensioni e il quantitativo dei mattoni oggetto di indagine si esprime con una curva gaussiana, con apice corrispondente con la media dei valori misurati.

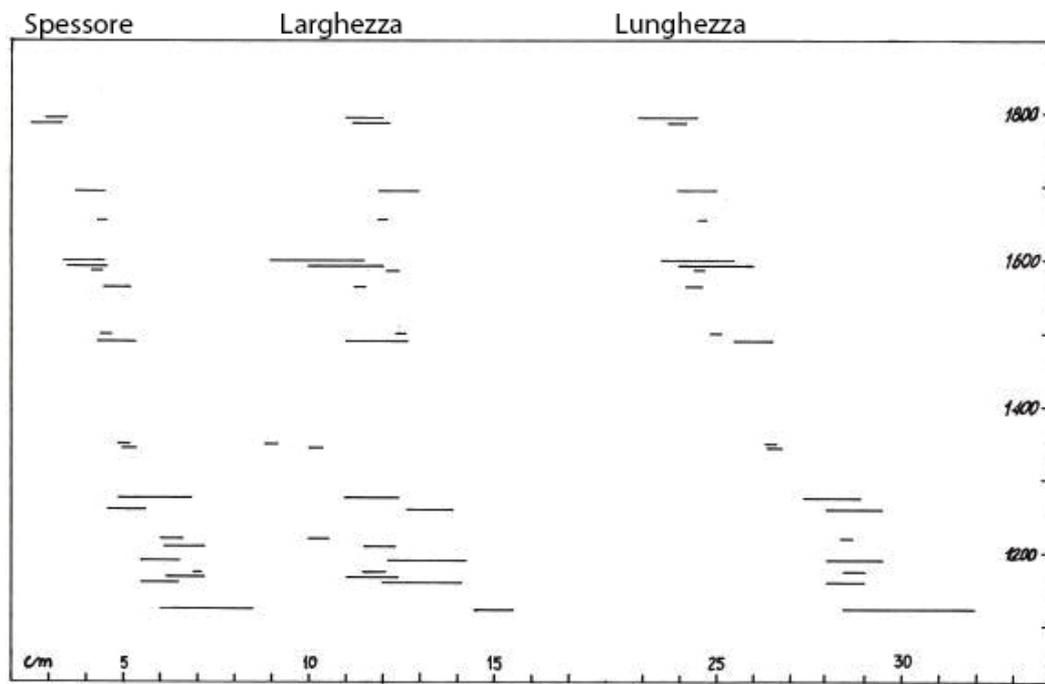


Figura 9. Esempio curva mensiocronologica, Genova anni '80. (bibar.unisi.it)

4.1 Variazioni dimensionali dei laterizi

In un momento non ben precisato dell'alto medioevo, probabilmente tra l'VIII e il X secolo, si è assistito ad un cambiamento nelle dimensioni dei mattoni, con l'abbandono dei tradizionali moduli romani di forma quadrata (bipedale, sesquipedale, bessale) e l'adozione di un nuovo formato rettangolare: un piede per mezzo piede (30 x 15 cm)¹⁷. Il nuovo formato, rettangolare e con dimensioni ridotte rispetto al passato, risulta più maneggevole.

Studi sull'edilizia civile medievale di numerose città italiane ed europee hanno evidenziato come, a partire dalla prima metà del XII secolo, si sia registrata, in maniera più o meno simultanea, la ripresa di una produzione sistematica di laterizi¹⁸.

Queste modifiche dimensionali sono state compiute in modo diverso, a seconda delle varie consuetudini amministrative e territoriali. Inizialmente le misure presentavano una discreta omogeneità, per poi assumere differenze più sostanziali nei secoli successivi.

Indagini mensiocronologiche sono stati condotti in maniera piuttosto dettagliata in città come Asti, Milano, Bologna, Pisa, Parma, Brescia, Venezia, ecc. Nei casi studiati, fatta eccezione per le città di Bologna e Siena, si è registrata una progressiva diminuzione delle dimensioni dei mattoni in età medievale.

L'analisi delle variazioni dimensionali dei mattoni nel tempo si è dimostrata come uno dei sistemi più efficaci e veloci di datazione assoluta nello studio di edifici storici.

Per rendere ancora più completo e significativo questo tipo di studio occorre considerare e valutare anche aspetti di carattere economico e storico relativamente alla produzione edilizia e alla commercializzazione dei laterizi. Per questo motivo è necessaria un'analisi sistematica, puntuale e circoscritta ad un determinato ambito produttivo, urbano o suburbano.

¹⁷ (quaderniquarneti.it)

¹⁸ (Archeologia dell'architettura, XII, 2007)

Le variazioni dimensionali dei mattoni possono essere divise in due tipologie¹⁹:

- casuali;
- volontarie.

Quelle casuali si legano all'utilizzo di cave diverse per reperire l'argilla, al riempimento manuale dei casseri, ai differenti ritiri in fase di essiccamento e cottura. Infatti, le percentuali di minerali argillosi variano tra i diversi giacimenti e la temperatura massima di cottura dei mattoni non è la stessa in ogni punto della fornace²⁰.

I fattori elencati possono determinare minime differenziazioni nelle dimensioni.

Le variazioni volontarie risultano correlate a fenomeni economici e di mercato. Dall'analisi dei contratti di forniture, reperibili all'interno di atti amministrativi e notarili, si evince che i mattoni sono sempre stati valutati e venduti a numero.

I produttori potevano quindi aspirare a maggiori profitti impiegando casseri dalle dimensioni leggermente più piccole. Tali variazioni dimensionali, date le oscillazioni notevoli esistenti nell'ambito di una stessa produzione dopo la cottura, non erano facilmente rilevabili. La strategia dei fornaciai appena descritta, almeno in certi periodi storici, poteva essere giustificata dalla svalutazione della moneta che, non trovando corrispondenza in una diminuzione del prezzo del singolo mattone, veniva compensata da una diminuzione del loro volume.

Solamente a distanza di diverso tempo i clienti, constatando una diminuzione media delle dimensioni dei mattoni, potevano richiedere un controllo da parte delle autorità competenti. Documenti ritrovati in diverse città attestano la richiesta di intervento delle autorità e testimoniano che il fenomeno della riduzione volontaria di volume dei mattoni fosse assai diffuso geograficamente e cronologicamente, difficilmente controllabile.

¹⁹ (Archeologia dell'Architettura, IV, 1999)

²⁰ (quaderniquarneti.it)

Come risultato delle continue richieste di intervento, le autorità governative emanavano e attuavano disposizioni, con differenze da città a città, in modo da garantire un alto livello qualitativo e dimensioni omogenee dei laterizi.

Tenendo conto di tali elementi e mediante un'analisi quantitativa delle misure dei mattoni, in edifici datati con altri indicatori cronologici, è possibile creare una curva di riferimento per la variazione dimensionale delle produzioni laterizie nei vari secoli²¹.

L'attendibilità dei risultati ottenibili applicando questa metodologia di datazione è funzione dell'ambito in cui si effettuano gli studi.

La presenza di un mercato unificato e di una domanda piuttosto continua all'interno di un ambito urbano consentono di ipotizzare che le variazioni dimensionali dei laterizi abbiano una tendenza continua, risultando analizzabili.

La situazione cambia nel caso di contesti rurali. Infatti, la produzione dei laterizi, essendo concentrata in piccoli centri, non ha un carattere continuo; ciò determina una minore attendibilità e maggiore difficoltà dell'applicazione della mensiocronologia in tali ambiti.

Risulta importante notare come questo metodo di datazione sia in diretto rapporto con l'andamento del mercato locale, e come le dimensioni dei laterizi siano diverse da città a città. Tale osservazione non fa altro che confermare il carattere locale della mensiocronologia.

²¹ (Archeologia dell'Architettura, IV, 1999)

4.2 Criteri di misurazione per costruzione di curve mensiocronologiche

La mensiocronologia dei mattoni è un metodo basato su elaborazioni matematiche. La precisione ottimale da considerare durante la fase di rilevamento delle misure è quella al millimetro.

La scelta delle porzioni di muratura sulla quale effettuare misurazioni risulta importante per diversi motivi.

I mattoni possono presentare giunti con malta abbondante che copre parzialmente i loro spigoli. Occorre liberare i bordi dalla malta in eccesso per poter effettuare le misure tra i due lati opposti e scartare i mattoni che risultano ricoperti in gran parte da malta. L'eventuale presenza di scheggiature o rotture impone lo scarto del mattone. L'analisi dei laterizi prevede la misura dello spessore, della lunghezza e della larghezza²².

In caso di irregolarità del singolo mattone vanno annotate le misure minime e massime, così come eventuali variazioni cromatiche.

Dopo aver fatto queste premesse è necessario scegliere una superficie accessibile, che presenti un numero sufficiente di mattoni e procedere con la misura di tutti i componenti che non presentino rotture²³.

Ogni US (unità stratigrafica) identificabile durante la fase di analisi dovrà essere interessata dalla misura di almeno 20 mattoni, in modo da rendere i risultati più attendibili.

Identificato le zone di indagine ed effettuate le misure necessarie, si procede con il calcolo dei valori medi, evidenziati dalle curve a campana o gaussiane, in modo da confrontare i risultati con dei valori tabellati e poter identificare i diversi di fabbricazione dei mattoni oggetto di analisi.

Occorre fare attenzione alla presenza di mattoni di recupero, che potrebbero causare un'alterazione della media delle misure con conseguentemente spostamento della datazione della struttura in esame.

²² (archeologiametodologie.com)

²³ (quaderniquarneti.it)

I materiali di recupero possono fornire un *terminus post quem*, ovvero una data dopo la quale è possibile collocare temporalmente un intervento edilizio.

Per servirsi della mensiocronologia occorre utilizzare le tabelle mensiocronologiche, valide per ciascuna città o regione omogenea e costituite dalle dimensioni dei mattoni standard con la rispettiva datazione. Tali tabelle risultano indispensabili per confrontare le misure dei laterizi associabili ad un certo periodo con le dimensioni dei mattoni rilevate sulle unità stratigrafiche delle murature analizzate.

Per la costruzione di curve mensiocronologiche di riferimento si può far ricorso a diverse fonti, ad esempio la misura diretta dei laterizi su murature con datazione certa, ricavata da iscrizioni o documenti di archivio con contratti di pagamento o bolle di spedizione²⁴.

²⁴ (ilcapochiave.it)

4.3 Osservazioni mensiocronologiche sul castello di Calosso

L'idea di approfondire le caratteristiche dimensionali dei laterizi costituenti la struttura del castello di Calosso è nata durante il primo sopralluogo svolto all'esterno della struttura. In tale occasione, da una semplice analisi visiva, ho potuto apprezzare differenze cromatiche, di degrado e di manifattura tra i mattoni costituenti i paramenti esterni del castello e delle mura.

La struttura muraria del castello è realizzata in mattoni ed esternamente, fatta eccezione per limitate porzioni, non risulta intonacata.

I paramenti esterni del castello e della cinta muraria sono caratterizzati dalla presenza di molteplici unità stratigrafiche, riconducibili a demolizioni, ricostruzioni e a svariate ricuciture di porzioni di murature ammalorate che hanno interessato le strutture del complesso fortificato di Calosso nel corso dei secoli.

Durante la fase di ricerca di documenti inerenti studi mensiocronologici, non è stato possibile reperire una tabella o una curva mensiocronologica valida per il territorio in cui si trova il castello.

Per questa ragione le unità stratigrafiche non sono state datate. In compenso, seguendo l'evoluzione delle fasi storiche documentate che hanno interessato il comune di Calosso, è stato possibile formulare ipotesi che associno le unità stratigrafiche con interventi edilizi che si sono susseguiti in diversi secoli.

Come ampiamente spiegato nel capitolo "Storia del castello di Calosso", la famiglia dei Roero ha posseduto il castello tra il XIV e il XVIII secolo, facendosi carico di tutti gli interventi necessari per recuperare e ricostruire il castello, soprattutto in seguito ai danneggiamenti causati nel XVII secolo durante la guerra civile tra i principisti e i madamisti.

Le fonti storiche analizzate documentano la distruzione di parte del complesso fortificato, ma non specificano le precise porzioni che hanno subito demolizioni e successive ricostruzioni.

L'analisi di documenti storici raccolti nella biblioteca dell'Archivio di Stato di Asti ha permesso di identificare una planimetria risalente al Settecento, riportata nella figura sottostante.

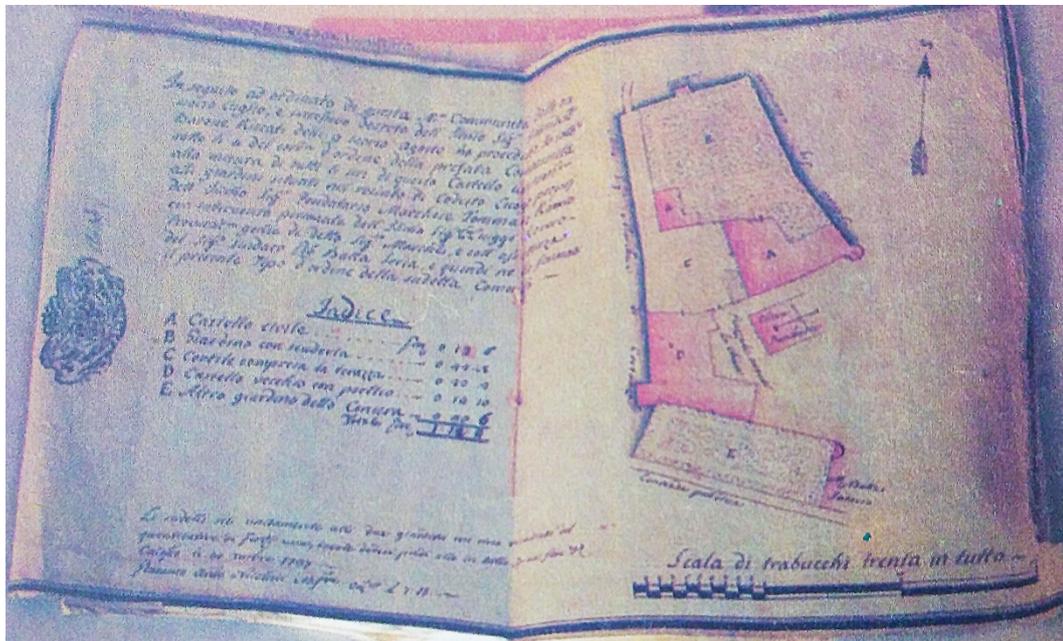


Figura 10. Pianta settecentesca del complesso fortificato di Calosso. (Archivio di stato, Asti)

L'elaborato grafico dimostra come, dal Settecento ad oggi, l'aspetto del complesso fortificato non sia cambiato in maniera sostanziale. Infatti, l'estensione della cinta muraria, della pianta del castello, delle scuderie presenti all'interno del giardino e del *castel vecchio* risultano variate solo in minima parte.

4.4 Analisi delle unità stratigrafiche identificate

Le operazioni di misura delle dimensioni dei laterizi hanno interessato diverse parti della struttura del castello e della cinta muraria, facendo attenzione alle diverse unità stratigrafiche identificabili.

Sono state analizzate le dimensioni di quattro unità stratigrafiche, evidenziate nel seguente stralcio di pianta del castello.

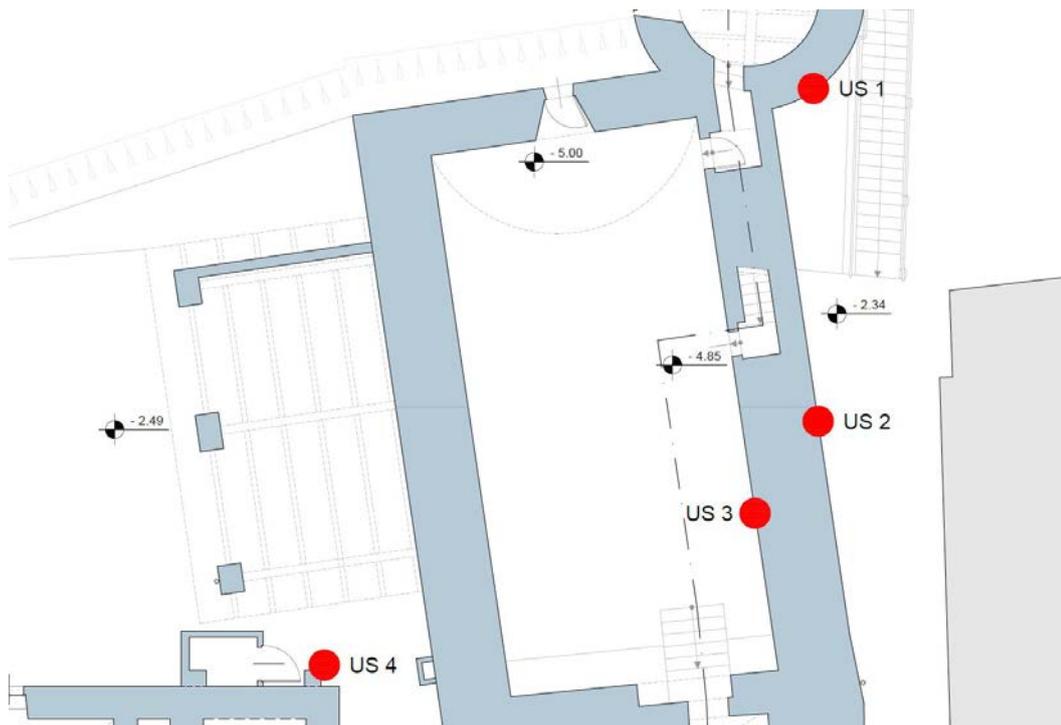


Figura 11. Collocamento US analizzate.

Nella seguente tabella si riportano i risultati delle misurazioni effettuate sulle unità stratigrafiche identificate e analizzate.

Dimensioni mattoni US			
	Lunghezza	Larghezza	Spessore
US 1	27 cm	12,5 cm; 19 cm	6,5 cm
US 2	25 cm	12,5 cm	6 cm
US 3	27 ÷ 30 cm	12 ÷ 15 cm	6,5 cm
US 4	24 cm	12 cm	6 cm

Gran parte della tessitura muraria del castello di Calosso e delle mura è composta da laterizi associabili all'unità stratigrafica US 1.

Tale US presenta dimensioni che differiscono dallo standard del mattone UNI (formato 5,5 x 12 x 25 cm), presentando una volumetria maggiore.

Nonostante le origini del complesso fortificato siano antecedenti al XIV secolo, si è scelto di associare l'unità stratigrafica US 1 ad un lasso temporale compreso tra il XIV e il XVI secolo. Tale scelta è stata dettata dal ritrovamento di documenti storici che hanno permesso di considerare la costruzione della cinta muraria, la quale condivide una simile tessitura muraria e unità stratigrafica con il castello, risalente al Cinquecento.

I laterizi che compongono la struttura muraria della torre sono disposti di testa o di punta e presentano larghezze differenti, pari a 12,5 o 19 cm, come riportato nella seguente immagine.



Figura 12. Laterizi US 1.

Le dimensioni dell'unità stratigrafica US 2 sono risultate minori rispetto all'US 1 sia in termini di lunghezza, sia di spessore.

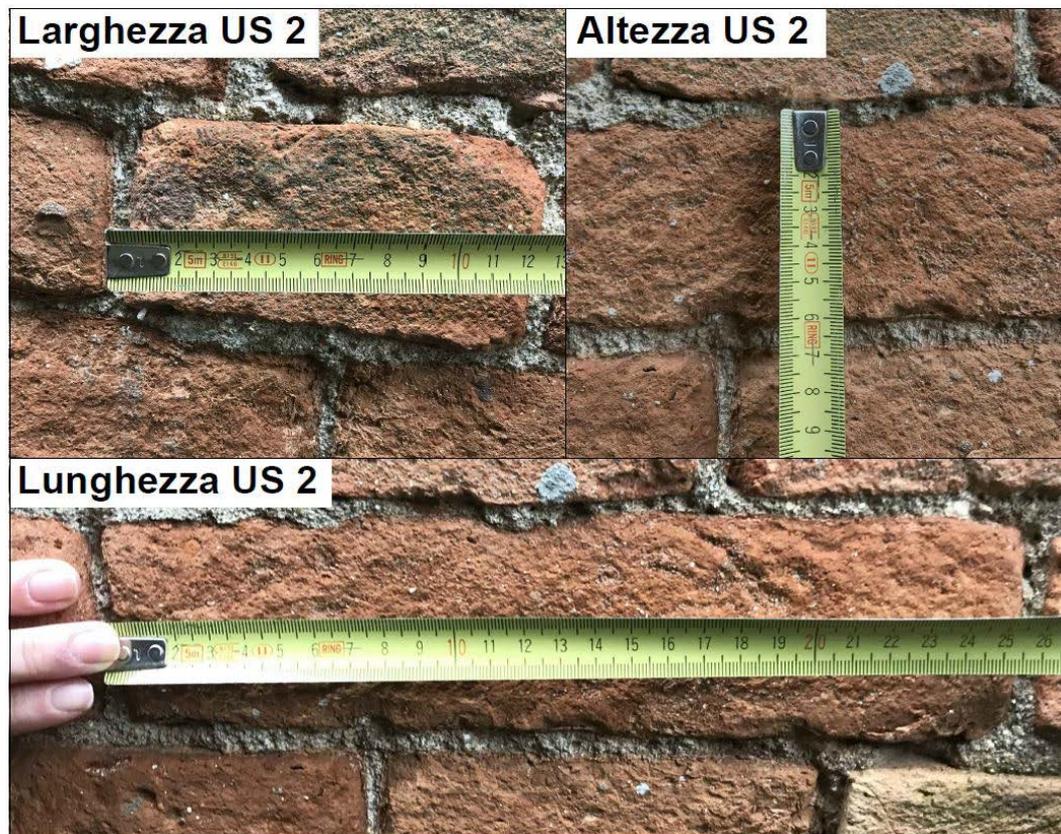


Figura 13. Dimensioni US 2.

L'identificazione e la misurazione delle dimensioni dell'unità stratigrafica US 2 è avvenuta in adiacenza all'US 1, sul paramento murario esterno del castello che si affaccia sulla stradina che separa il castello dalla chiesa di San Martino. Tale muratura è interessata da molteplici porzioni in cui sono state effettuate delle ricuciture con mattoni di più recente fabbricazione, verosimilmente successiva al XVIII secolo.

L'ammaloramento dei laterizi originali può esser stato causato da diversi fattori, tra cui è possibile segnalare il ristagno d'acqua e l'elevata umidità presente lungo la via, accentuata dall'ombra generata dalla volumetria della chiesa sulla parete esposta a sud del castello.

Le differenze tra le due unità stratigrafiche non si limitano alle caratteristiche dimensionali, ma riguardano anche la cromia dei laterizi.

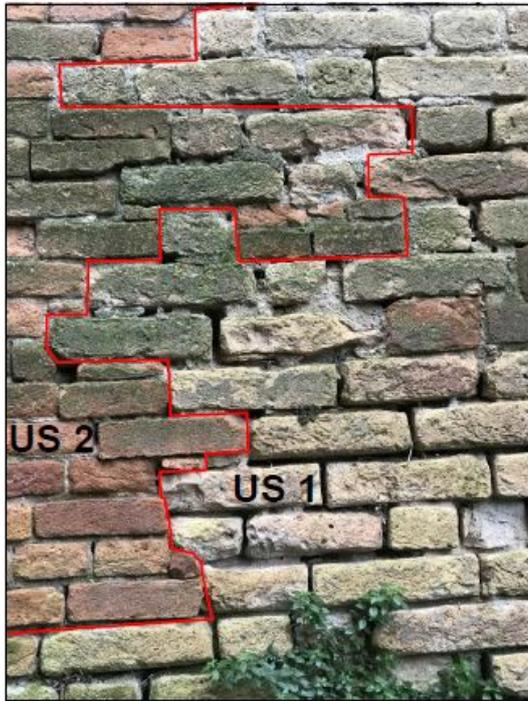


Figura 14. Differenze tra US 1 e US 2

Le dimensioni dell'unità stratigrafica US 3 sono risultate simili a quelle dell'US 1.



Figura 15. US 3.

L'ultima unità stratigrafica analizzata, denominata US 4, identifica delle superfetazioni realizzate negli anni '50. Tali volumi sono stati aggiunti con l'esigenza di creare nuovi servizi igienici a servizio degli ambienti posti al primo e al secondo piano del castello.

L'unità stratigrafica US 4 è l'unica che è stata datata con precisione, in quanto la data di fabbricazione dell'intervento edilizio è stata riportata su uno dei due pilastri in muratura che supporta i servizi igienici realizzati al primo piano.



Figura 16. US 4: pilastro in muratura con data di fabbricazione.

La ricerca di studi sulla mensiocronologia, come precedentemente argomentato, ha evidenziato differenze dimensionali presenti sia a livello regionale che subregionale.

L'ANDIL, Associazione Nazionale degli Industriali dei Laterizi, ha raccolto dati dimensionali sui mattoni prodotti in Italia nel XX secolo, dividendo i risultati regione per regione in modo da evidenziarne le differenze dimensionali.

Le dimensioni misurate sui mattoni dell'unità stratigrafica US 4 corrispondono con quelle maggiormente diffuse in Piemonte in quel periodo, di seguito riportate.

Tabella 1 - FORMATI MATTONI PIENI E SEMIPIENI (Sono indicati soltanto i formati che, in base all'indagine, sono risultati i più diffusi. I formati unificati sono in carattere neretto. Le misure sono in cm).

Regione	Mattoni pieni (in ordine decrescente di diffusione)	Mattoni semipieni (in ordine decrescente di diffusione)
Piemonte	6 × 12 × 24 6 × 11,5 × 24	7 × 11,5 × 23,5 7 × 11 × 24
Lombardia	6 × 11 × 23 6 × 10,5 × 22,5	12 × 12 × 25 6 × 11 × 23
Veneto - Trentino-Alto Adige - Friuli-Venezia Giulia	6 × 12,5 × 26 6 × 13 × 26	7 × 11,5 × 24,5 13 × 13 × 26
Liguria	6 × 12 × 24	7 × 11 × 24
Emilia	6 × 13 × 26 5,8 × 14 × 28	12 × 12 × 25 5,5 × 12 × 25
Toscana	5,5 × 12 × 25 6 × 13 × 26	5,5 × 12 × 25 5,5 × 13 × 26
Marche	6 × 13 × 26 6 × 13 × 28	5 × 10 × 25 5 × 12 × 25
Umbria	5,7 × 12,5 × 26 6 × 13 × 26	5,5 × 12,5 × 25,5 6 × 13 × 26 5,5 × 12 × 24
Lazio	5 × 14 × 28 5,5 × 12,5 × 25,5	5 × 14 × 28 5 × 12 × 25
Abruzzo - Molise	6 × 13 × 26 6 × 13 × 27	6 × 13 × 26 12,5 × 13 × 26
Campania	6 × 13 × 26	
Puglia	6 × 13 × 26	6 × 13 × 26 6 × 12 × 25
Lucania - Calabria	6 × 13 × 26 5,5 × 12,8 × 26	13 × 13 × 26 12 × 26 × 26
Sicilia	6 × 13 × 26 5 × 12 × 25	6 × 13 × 26 12 × 12 × 25
Sardegna	6 × 12 × 25 5 × 12 × 24	6 × 12 × 24 5,5 × 11,5 × 25
Numero dei formati rilevati . . .	57	96
Numero dei formati contemplati dalle Tab. UNI	3	6

Figura 17. Dimensioni dei mattoni suddivise per regione. (ANDIL, 1975)

Nel corso dei secoli gli interventi edilizi effettuati sul castello di Calosso hanno fatto sì che perdesse gran parte delle caratteristiche tipiche degli edifici militari, assumendo le sembianze di una dimora signorile.

Da un'attenta analisi visiva dei prospetti del castello è stato possibile evidenziare la presenza di molteplici aperture tamponate, visibili sul prospetto principale esposto ad ovest, così come sui fronti esposti a nord, sud e sui lati nord e ovest della cinta muraria. Anche la torre presenta aperture tamponate sia al piano -2 che al piano 1.

In particolare, sul prospetto nord del castello sono visibili tre aperture tamponate, poste su livelli differenti ed evidenziate nella seguente immagine, che testimoniano una precedente articolazione degli spazi interni differente.

Il tamponamento delle suddette aperture è riconducibile al rifacimento dell'orizzontamento a volta che separa il salone principale al piano terra del castello dagli ambienti soprastanti, verosimilmente realizzato da una serie di archi in muratura, con voltini in mattoni in foglio e specchiature realizzate con travi in legno e voltini in cannicciato.

Il rifacimento della partizione interna orizzontale del salone è stato, con molta probabilità, realizzato nel Settecento e ha contribuito a definire uno degli ambienti più curati, significativi e di rappresentanza del castello di Calosso.

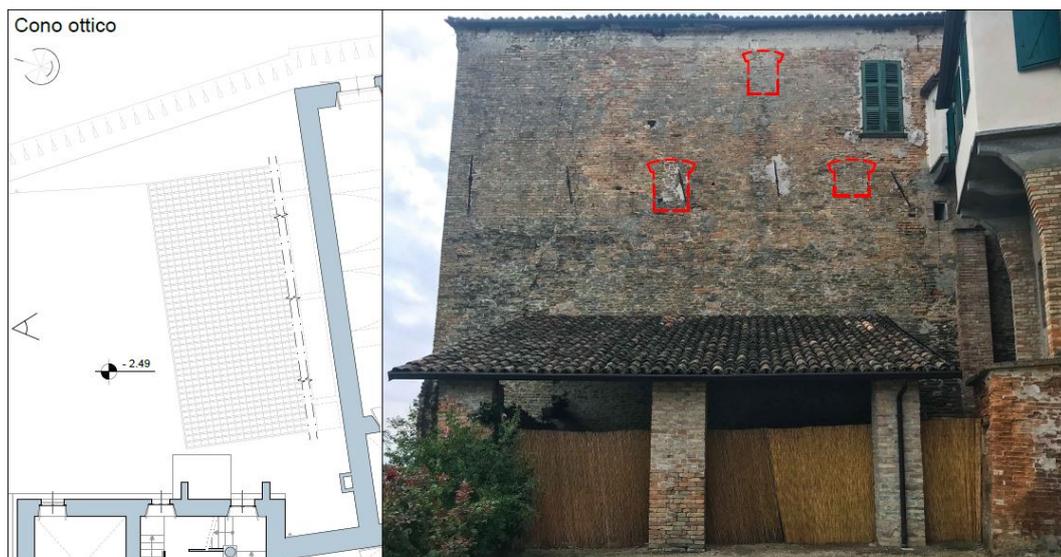


Figura 18. Cono ottico su prospetto nord con aperture tamponate.

Sul lato nord della cinta muraria sono evidenti ricuciture sul paramento murario che testimoniano la conseguente presenza di diverse unità stratigrafiche.

Il portale in legno di accesso al giardino del castello risale al Settecento e si discosta, anche dal punto di vista cromatico, dall'aspetto della cortina muraria cinquecentesca.



Figura 19. Fronte nord della cinta muraria cinquecentesca e portone settecentesco.

5 Rilievo plano-altimetrico

“Il rilievo architettonico è un’operazione volta a capire l’opera nella sua globalità (...); rilevare quindi significa innanzitutto comprendere l’opera che si ha davanti, coglierne tutti i valori, da quelli dimensionali a quelli costruttivi, da quelli formali a quelli culturali”²⁵.

Il rilievo plano-altimetrico ha rappresentato una fase preliminare alla pianificazione delle indagini diagnostiche, in quanto è risultato utile anche per identificare porzioni di unità tecnologiche e classi di elementi tecnici particolarmente interessati da fenomeni di degrado.

L’unico elaborato grafico disponibile prima dell’inizio della campagna di rilievo è rappresentato da una pianta del piano terra del castello, datata 15/12/1939.

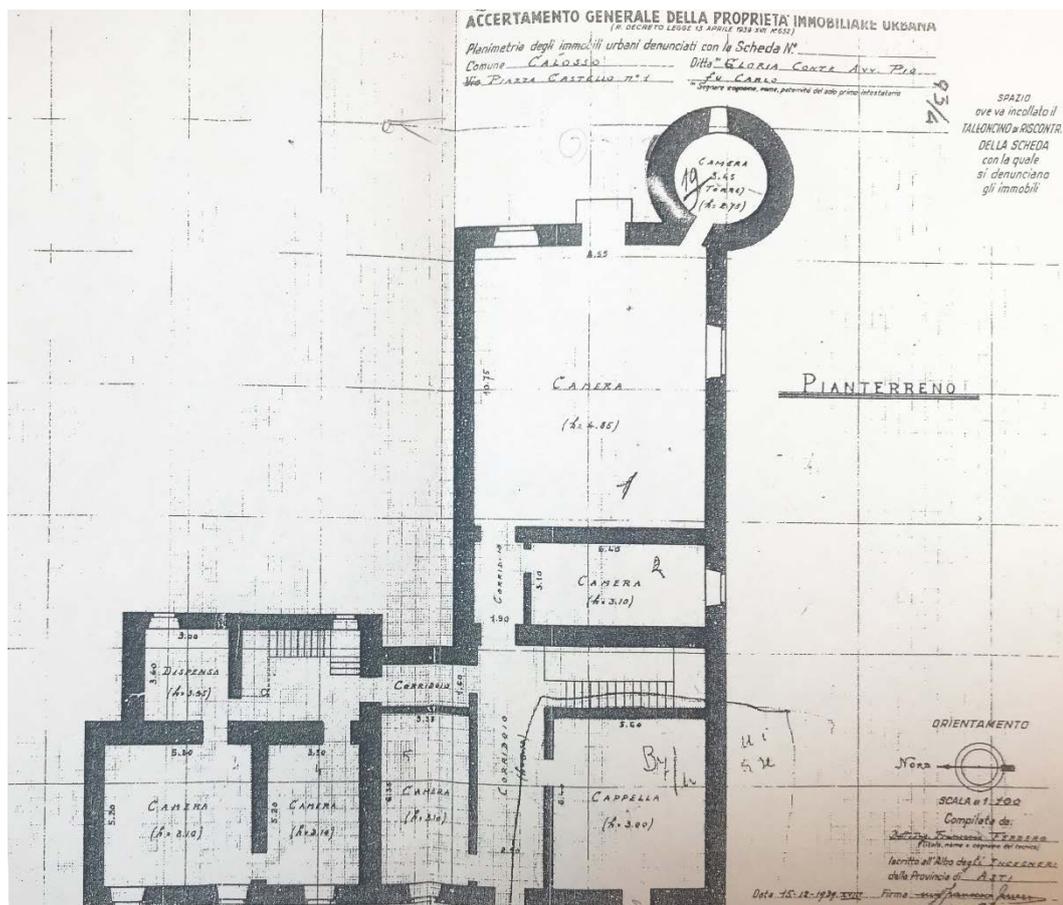


Figura 20. Pianta piano terra castello di Calosso.

²⁵ (Docci & Maestri, 2009)

5.1 Metodologia e strumentazione di rilievo

La pianificazione del rilievo ha decretato la scelta della metodologia diretta, la quale prevede l'utilizzo da parte dell'operatore di strumenti di misura piuttosto semplici.

Per rilevare l'andamento planimetrico dell'area circostante il castello di Calosso, in particolare del giardino e di piazza Castello, è stato effettuato un rilievo topografico (strumentale). Tale metodologia di rilievo ha consentito di mettere in relazione le quote interne del castello con le quote di altri fabbricati oggetto di rilievo, come *castel vecchio* e le ex scuderie.

Gli strumenti utilizzati durante la fase di rilievo sono di seguito riportati:

- distanziometro laser;
- rotella metrica (50 m);
- flessometro (5 m);
- doppio metro;
- livella sferica;
- livello ottico;
- filo a piombo;
- asta metrica telescopica (stadia).



Figura 21. Strumentazione utilizzata per il rilievo diretto.

L'iter operativo del rilievo architettonico consiste di due fasi ben distinte²⁶:

- fasi di campagna, in cui si raccolgono i dati;
- restituzione.

L'eidotipo rappresenta un elemento fondamentale nelle operazioni di rilievo con la metodologia diretta e consiste in un disegno dal vero di una porzione dell'edificio oggetto di rilievo. Lo scopo dell'eidotipo è quello di fare da supporto grafico alle informazioni ricavate dal rilievo²⁷, riproducendo le forme e mantenendo le proporzioni tra le parti dell'oggetto da rilevare.

Durante la fase di rilievo dello sviluppo in pianta dei vani del castello, le lunghezze sono state misurate con il metodo delle misure parziali, all'occorrenza integrato con il metodo delle misure progressive.

Il metodo delle misure parziali prevede la misura della distanza relativa per ogni coppia di punti; occorre rilevare anche la misura totale del lato del vano oggetto di rilievo.

Il metodo delle misure progressive consiste nella misura progressiva delle distanze dei singoli punti a partire da un unico punto di riferimento, il quale corrisponde all'estremo della parte da misurare in cui abbiamo posto lo zero della rotella metrica o del flessometro. Tale metodo consente una speditezza nella ripresa delle misure e una riduzione dell'errore maggiore rispetto al metodo delle misure parziali, con l'inconveniente di non riportare il valore metrico della singola parte rilevata, che dovrà necessariamente essere indicato nell'elaborato²⁸.

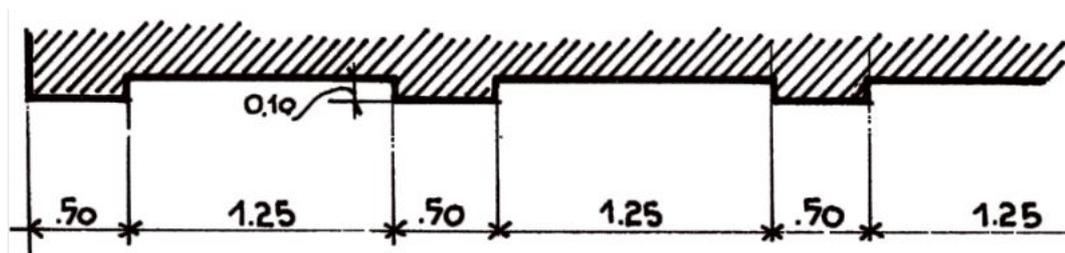


Figura 22. Metodo delle misure parziali. (aup.it)

²⁶ (francescoguerrini.it)

²⁷ (2017_04_Ratotti.pdf)

²⁸ (federica.unina.it)

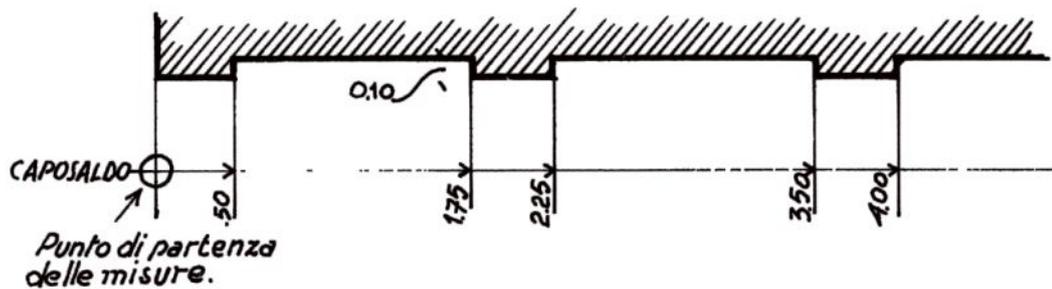


Figura 23. Metodo delle misure progressive. (aup.it)

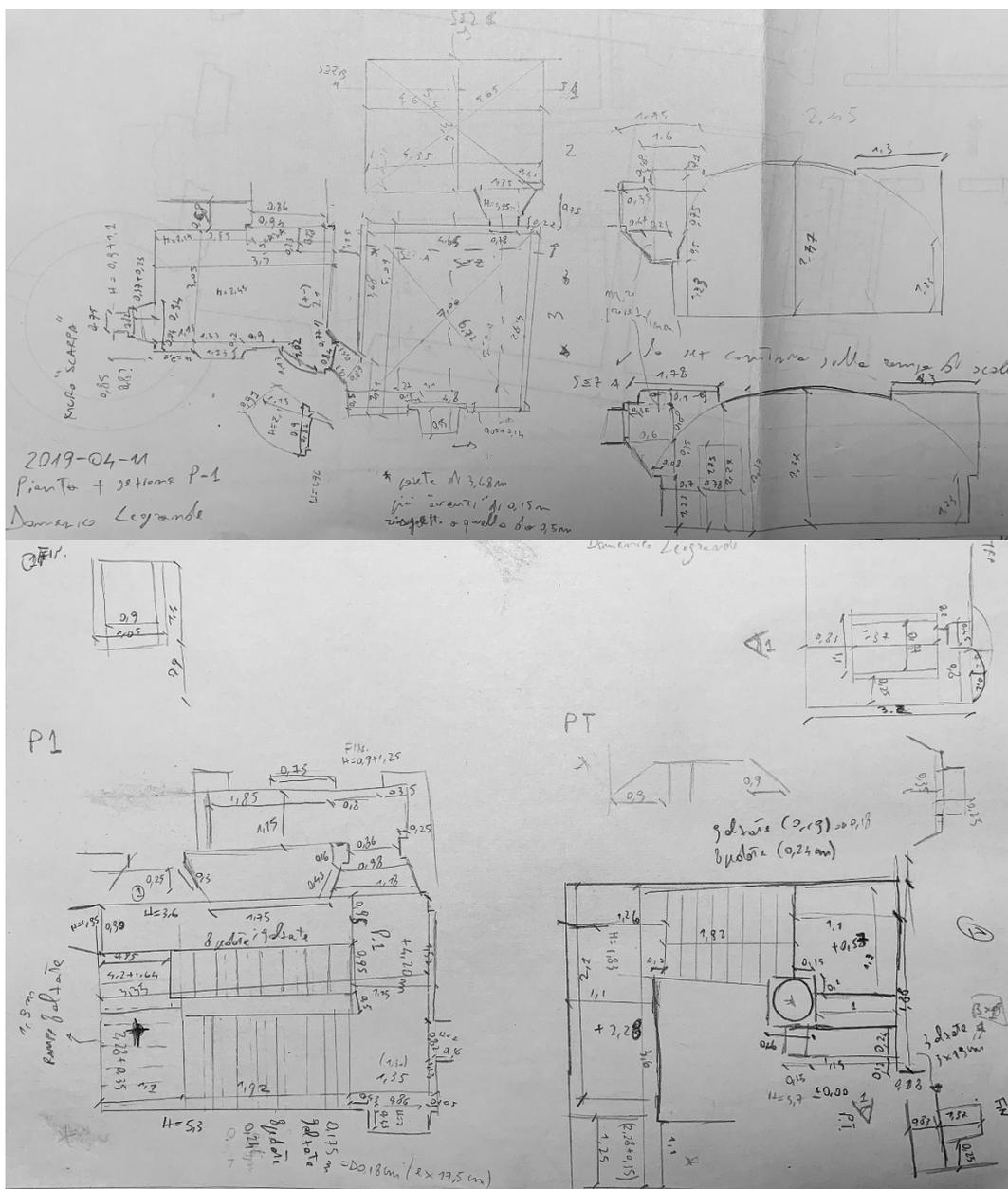


Figura 24. Porzioni di eidotipi realizzati: piano interrato e rampa di scale.

Per il rilievo di porzioni di fabbricato che presentano sporgenze e rientranze è stato utilizzato il metodo per ascisse e ordinate. Per rilevare lunghezze discontinue si considera una linea d'appoggio, possibilmente parallela al lato da rilevare, sulla quale si proiettano perpendicolarmente i punti da rilevare. Individuata la linea d'appoggio si procede alla misura, con il metodo delle misure parziali e progressive, delle distanze tra i punti proiettati (ascisse) e delle distanze tra i punti da rilevare e la loro proiezione sulla linea di appoggio (ordinate)²⁹.

La suddetta metodologia di rilievo è stata utilizzata per rilevare parte del perimetro esterno del castello, caratterizzato da sporgenze e rientranze, e per determinare la posizione delle siepi e degli alberi presenti all'interno del giardino. Durante tali operazioni la rotella metrica è stata utilizzata come linea d'appoggio.

La fase di rilievo di tutti gli ambienti ha previsto la misura di tutte le nicchie, aperture, sporgenze, ecc. Per consentire la successiva ricostruzione in scala degli ambienti, spesso irregolari, è stato necessario misurare le diagonali, indispensabili per effettuare le trilaterazioni.

Un'ulteriore metodologia utilizzata in fase di rilievo è rappresentata dalla coltellazione, utilizzata per rilevare dal punto di vista altimetrico i due vani scala presenti nel castello di Calosso.

Per definire lo sviluppo planimetrico di una scala risulta fondamentale: determinare il numero di alzate e pedate delle singole rampe, misurare tutte le pedate, il pianerottolo di partenza, intermedio e di arrivo, la lunghezza delle rampe.

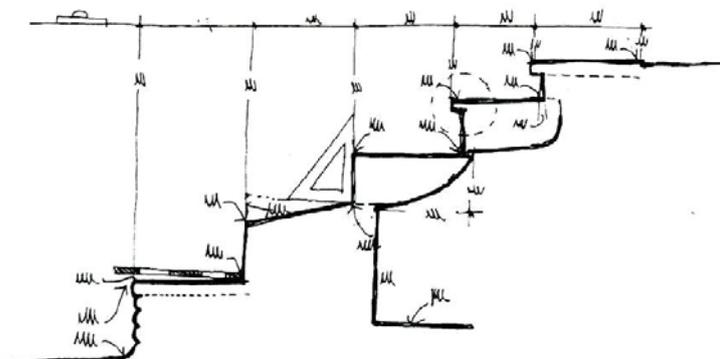


Figura 25. Rilievo altimetrico scala. (Mongiello)

²⁹ (federica.unina.it)

Il rilievo strumentale (topografico) ha interessato un'area estesa e ha necessitato di più punti di stazione, scelti durante la fase di campagna.

Per il rilievo altimetrico è stata scelta una livellazione di tipo geometrico.

Le livellazioni geometriche sono distinte in due tipologie:

- semplici, quando consentono di determinare il dislivello tra due punti con una sola stazione;
- composte, quando richiedono due o più stazioni servendosi di punti detti ausiliari; il dislivello totale è dato dalla somma di due o più dislivelli parziali.

Le livellazioni semplici sono state eseguite con la modalità della livellazione da un estremo. Tale metodologia prevede di fare stazione in un punto, definito "A" nella seguente figura, collocare la stadia in posizione verticale nel punto B, misurare l'altezza strumentale h ed effettuare la battuta di livellazione.³⁰

Il dislivello tra i punti A e B risulta:

$$\delta_{AB} = q_B - q_A = h - L_B$$

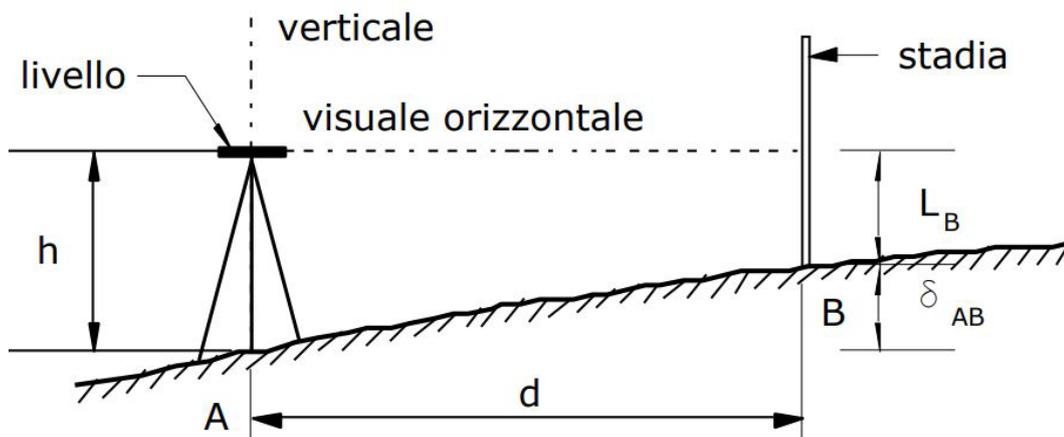


Figura 26. Livellazione geometrica semplice. (home.teletu.it)

³⁰ (home.teletu.it)

Per completare le operazioni di rilievo altimetrico sono stati necessari 10 punti di stazione e più di 100 battute di livellazione. La fase di campagna di tale metodologia di rilievo richiede la collaborazione di almeno due operatori, in modo da gestire la fase di mira e collimazione della stadia e la movimentazione delle aste metriche tra i vari punti oggetti di rilievo.

Durante la fase di preparazione e di esecuzione del rilievo altimetrico occorre:

- installare il livello ottico sulla testa del treppiede;
- regolare e fissare la lunghezza delle gambe telescopiche del cavalletto;
- mettere in bolla il livello ottico tramite le apposite ghiere di regolazione;
- sistemare il filo a piombo;
- misurare l'altezza strumentale;
- definire la posizione in pianta del punto di stazione;
- regolare la messa a fuoco del cannocchiale;
- collimare l'asta metrica graduata (stadia);
- prendere nota del risultato della battuta di livellazione.



Figura 27. Strumentazione utilizzata per il rilievo altimetrico.

La fotografia ha rappresenta un supporto fondamentale sia durante la fase di campagna, sia durante la fase di restituzione del rilievo. In molteplici casi la fotografia ha costituito un documento utile ai fini del rilievo, in quanto è possibile ricavare dall'immagine fotografica alcune informazioni utili per la determinazione metrica degli elementi rilevati³¹.

Per ottenere tali informazioni è opportuno che la fotografia sia scattata facendo attenzione a porre il piano della pellicola parallelo rispetto all'elemento di interesse. Inoltre, occorre controllare che l'asse della macchina fotografica sia orizzontale. Nella maggior parte dei casi le suddette condizioni non si verificano e, per ottenere informazioni metriche dalle fotografie, è opportuno utilizzare dei software per il raddrizzamento fotografico.

Alcuni sopralluoghi effettuati per rilevare gli ambienti interni del castello sono stati svolti in concomitanza con dei lavori di manutenzione che hanno interessato il manto di copertura del castello. La misura delle dimensioni dei coppi smontati ha permesso una maggiore accuratezza durante la fase di restituzione del rilievo.



Figura 29. Coppi di copertura in laterizio.

³¹ (Piscitelli)

La presenza in sito di un elevatore telescopico e la collaborazione da parte degli operai hanno consentito di scattare fotografie durante la fase di posa di onduline fibrobituminose, utilizzate per agevolare e velocizzare la posa dei coppi sulle porzioni a sbalzo del tetto (pantalera), e di installazione di nuove grondaie e pluviali.

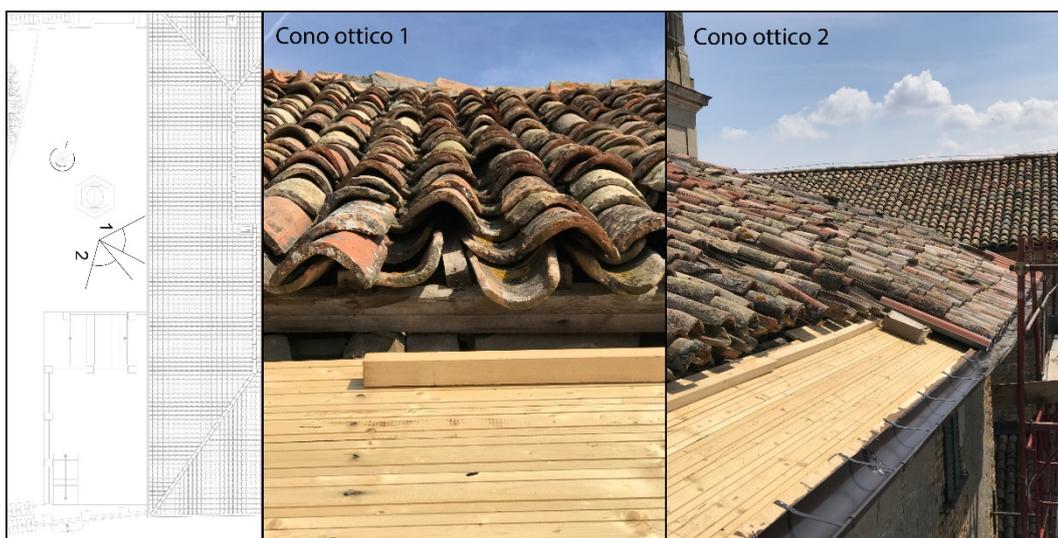


Figura 30. Foto scattate durante operazioni di manutenzione del tetto.

La fase di rilievo del sottotetto del castello ha evidenziato un andamento del manto di copertura discontinuo in più porzioni, con differenti altezze delle linee di colmo. Anche lo sviluppo lineare delle linee di colmo non è risultato continuo.

Le immagini scattate all'interno del sottotetto del castello sono risultate utili per individuare la struttura portante della copertura, la posizione e il numero delle capriate, la tipologia di orditura dei solai inclinati e la metodologia di posa dei coppi in laterizio.

Le foto aeree scattate con un drone sono state di grande aiuto per rilevare la tipologia e geometria del manto di copertura della torre del castello e di altre porzioni di copertura, non rilevabili a causa della non accessibilità in condizioni di sicurezza del sottotetto.

Le due fotografie aeree di seguito riportate evidenziano gran parte della geometria e tipologia del manto di copertura del castello di Calosso.



Figura 31. Foto aerea del fronte nord del castello. Foto scattata da Vittorio Balladore Pallieri.



Figura 32. Foto aerea della copertura della torre del castello. Foto scattata da Vittorio Balladore Pallieri.

5.2 Descrizione dei locali rilevati

Il castello di Calosso risulta articolato su tre piani fuori terra, un piano interrato e un sottotetto non praticabile.

Il salone presente al piano terra del fabbricato ha un'altezza di interpiano che raggiunge i 6,30 metri; questo comporta uno sviluppo su due piani fuori terra di tale porzione del castello.

La torre si sviluppa su cinque piani, tutti accessibili da locali interni al castello.

Dal giardino del castello è possibile accedere al fabbricato adibito a deposito (ex scuderie), sviluppato su un piano fuori terra e al *castel vecchio* (non oggetto di rilievo), articolato su due piani fuori terra, un piano interrato e un sottotetto non praticabile.

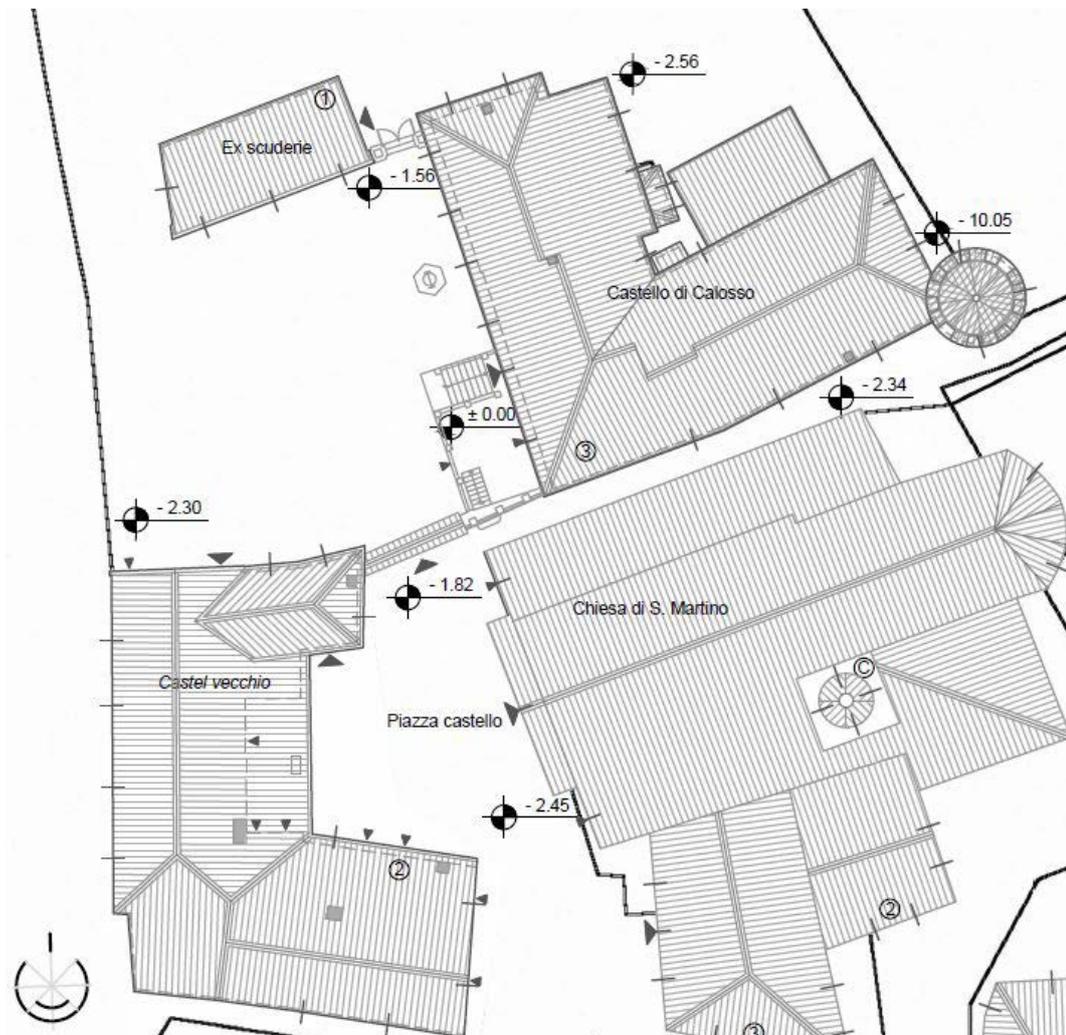


Figura 33. Stralcio della planimetria del rilievo filologico-congetturale.

5.2.1 Castello: piano interrato

I locali del piano interrato e seminterrato del castello si articolano su quote differenti. La presenza di molteplici tecniche costruttive e la separazione in due porzioni non collegate tra loro del piano interrato è testimonianza delle diverse fasi di costruzione e degli interventi di ristrutturazione che hanno modificato le caratteristiche del complesso fortificato del castello di Calosso nel corso dei secoli.

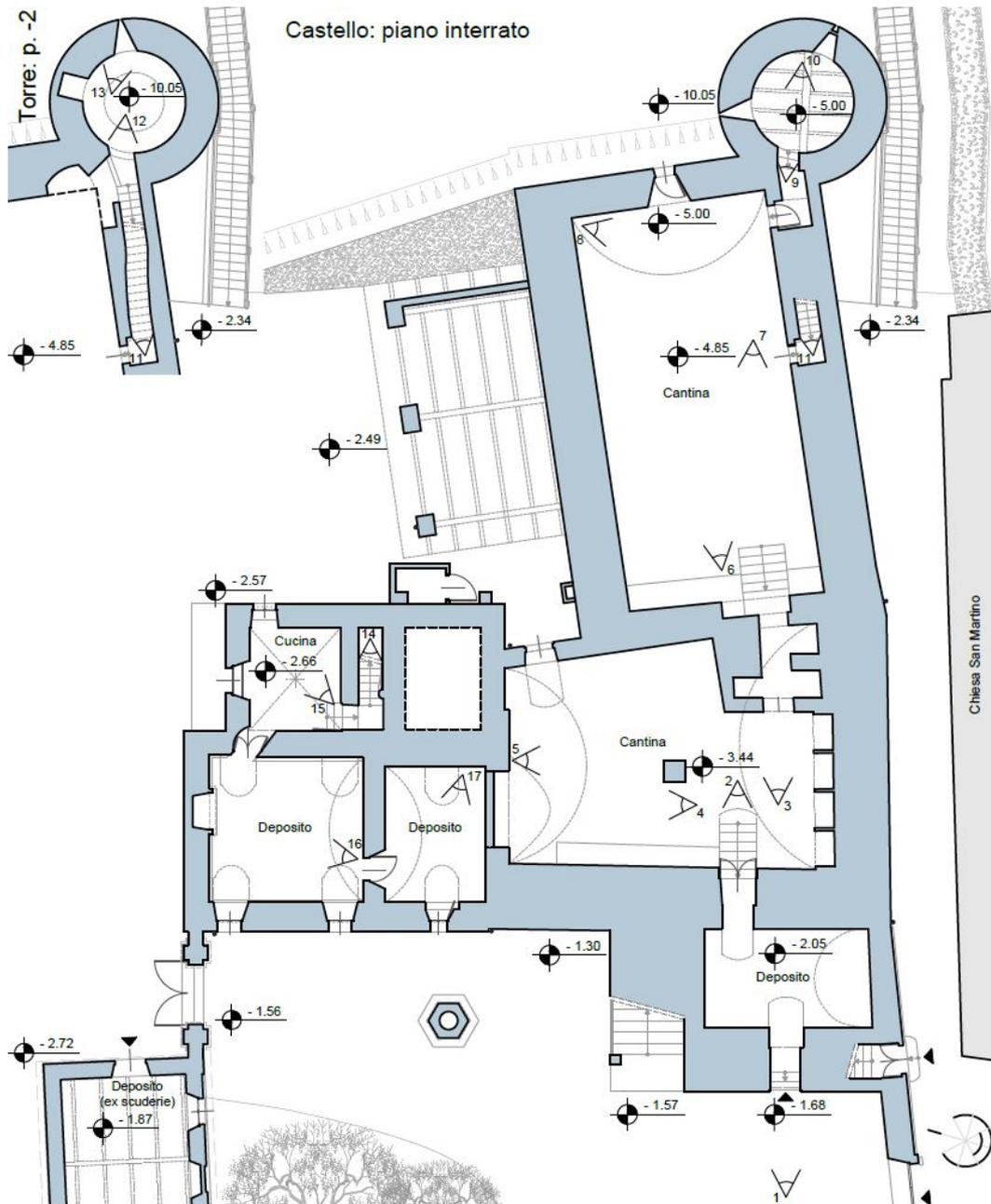


Figura 34. Pianta piano interrato del castello; pianta piano -2 della torre. Coni ottici.

La figura 34, di sopra riportata, rappresenta lo sviluppo in pianta del piano interrato del castello, con l'indicazione dei punti di scatto di fotografie e relativi coni ottici. Le immagini scattate sono di seguito riportate e consentono di trasmettere una visione dello stato di fatto del fabbricato, evidenziando l'articolazione degli spazi interni, le differenti tipologie di soluzioni costruttive utilizzate e la presenza di eventuali superfetazioni o interventi riconducibili ad epoche diverse.

L'accesso al piano interrato del castello è possibile in due modi differenti: tramite l'ingresso dal giardino prospiciente il fronte ovest del fabbricato (cono ottico 1, figura 34) oppure servendosi della rampa di scale (cono ottico 14, figura 34) accessibile dal piano terra del castello, nei pressi della cucina.



Figura 35. Cono ottico 1, accesso piano interrato dal giardino.



Figura 36. Cono ottico 2-3.



Figura 37. Cono ottico 4. Vista su arco tamponato.

La figura 37 evidenzia la presenza di una tamponatura a chiusura di un arco. Tale muratura separa le due porzioni del piano interrato del castello, realizzate in epoche diverse, con molta probabilità risalenti al XV e al XVIII secolo.

I locali che si trovano oltre il paramento murario, associati alla fase settecentesca, presentano una quota del piano di calpestio più alta rispetto al vano in cui è stata scattata la fotografia. Tale osservazione, unita alla ricostruzione verosimile delle fasi di costruzione del castello, ha consentito di ipotizzare la presenza di un ulteriore locale interrato, a quota più bassa e collegato tramite l'arco con i vani costruiti nel Cinquecento.

Nell'immagine seguente si nota la presenza di un'unghia nella volta a botte, realizzata per permettere il collegamento tra locali adiacenti, e di un pilastro in mattoni. Il piano di calpestio dei vani di tale porzione del piano interrato del castello è irregolare, con salti di quota considerevoli.



Figura 38. Cono ottico 5. vista su cantina con volte a botte.

La fotografia scattata nel punto “6” illustra la volumetria dell’ambiente interrato posto in corrispondenza del salone al piano terra, caratterizzato da una volta a botte, una finestra sul fronte est del castello e due aperture che collegano il vano con due dei cinque piani della torre.

In questo locale risultano evidenti fenomeni di alterazione³² e degrado³³ che interessano i mattoni in laterizio, causati sia da fattori estrinseci (legati all’ambiente circostante e al contesto), sia da fenomeni intrinseci (caratteristiche dell’edificio, materiali), tra i quali:

- alveolizzazione;
- disgregazione o polverizzazione;
- efflorescenze;
- patina biologica.



Figura 39. Cono ottico 6.

³² Alterazione: modificazione di un materiale che non implica necessariamente un peggioramento delle sue caratteristiche sotto il profilo conservativo. (UNI 11182:2006)

³³ Degrado: modificazione di un materiale che comporta un peggioramento delle sue caratteristiche sotto il profilo conservativo. (UNI 11182:2006)

I locali fotografati nelle figure 39, 40 e 41 sono stati scelti per l'esecuzione di una delle tipologie di prove diagnostiche svolte sul castello, in particolare della prova al carburo di calcio per determinare il contenuto d'acqua nelle murature. Tale decisione è stata presa dopo aver riscontrato un'elevata umidità percepita durante le fasi di rilievo ed estesi fenomeni di degrado dovuti in larga parte all'umidità di risalita capillare.



Figura 40. Cono ottico 7.

Il locale illustrato nelle due figure precedentemente riportate permette di accedere a due dei cinque livelli della torre del castello.

L'apertura nella muratura visibile nella parte sinistra della figura 41 mostra l'accesso al livello della torre posto alla stessa quota del vano interrato (livello -1), l'apertura sulla destra dà accesso alla rampa di scale che collega il piano -2, coprendo un dislivello di circa 5 metri.

I due livelli della torre, come mostrato nelle seguenti immagini, presentano una tipologia di partizione orizzontale differente: volta a cupola per il livello -2 e solaio ligneo per il livello -1.



Figura 41. Cono ottico 8. Vista su aperture di accesso alla torre.



Figura 42. Cono ottico 9-10. Vista su livello -1 della torre.



Figura 43. Cono ottico 11-12. Vista su rampa di scale di accesso al piano -2 della torre.

La prova al carburo di calcio per la determinazione del contenuto d'acqua nelle murature è stata eseguita anche su paramento murario del livello -2 della torre, per poter confrontare i risultati con quelli ottenuti dalle prove svolte al piano superiore.



Figura 44. Cono ottico 13. Vista su feritoia e volta a cupola del livello -2 della torre.

I locali del piano seminterrato campiti di rosso nella figura sottostante risultano accessibili attraverso la rampa di scale interna al castello o tramite una porta posta sul fronte nord del fabbricato. I fenomeni di alterazione e degrado individuati ed elencati negli ambienti precedentemente descritti risultano meno sviluppati nei vani della porzione di piano evidenziata nella figura 45.

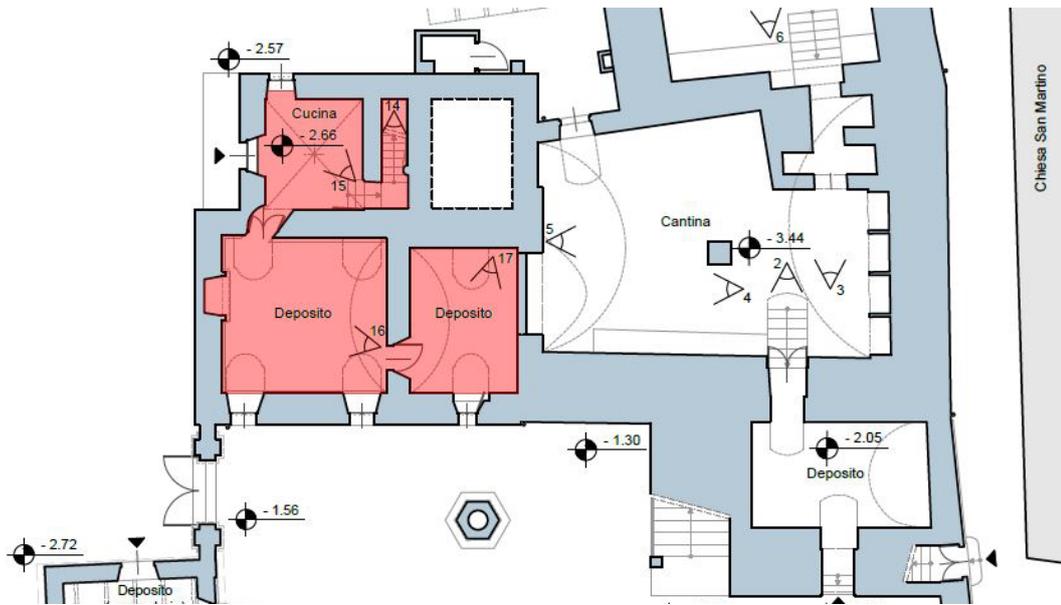


Figura 45. Stralcio di pianta piano interrato del castello. Coni ottici.



Figura 46. Cono ottico 14-15. Vista su rampa di scale e locale adibito a cucina-lavanderia.

Le lunette realizzate sui fianchi della volta a botte danno luce all'ambiente.



Figura 47. Cono ottico 16.



Figura 48. Cono ottico 17. vista sulla lunetta della volta a botte.

5.2.2 Castello: piano terra

Il primo dei piani fuori terra del castello di Calosso è un piano terra rialzato, denominato “piano terra” negli elaborati grafici allegati alla tesi. L’accesso ai locali interni del castello avviene dopo aver percorso una rampa di scala che copre il dislivello, pari a circa 1,60 metri, tra il giardino e l’interno del fabbricato.

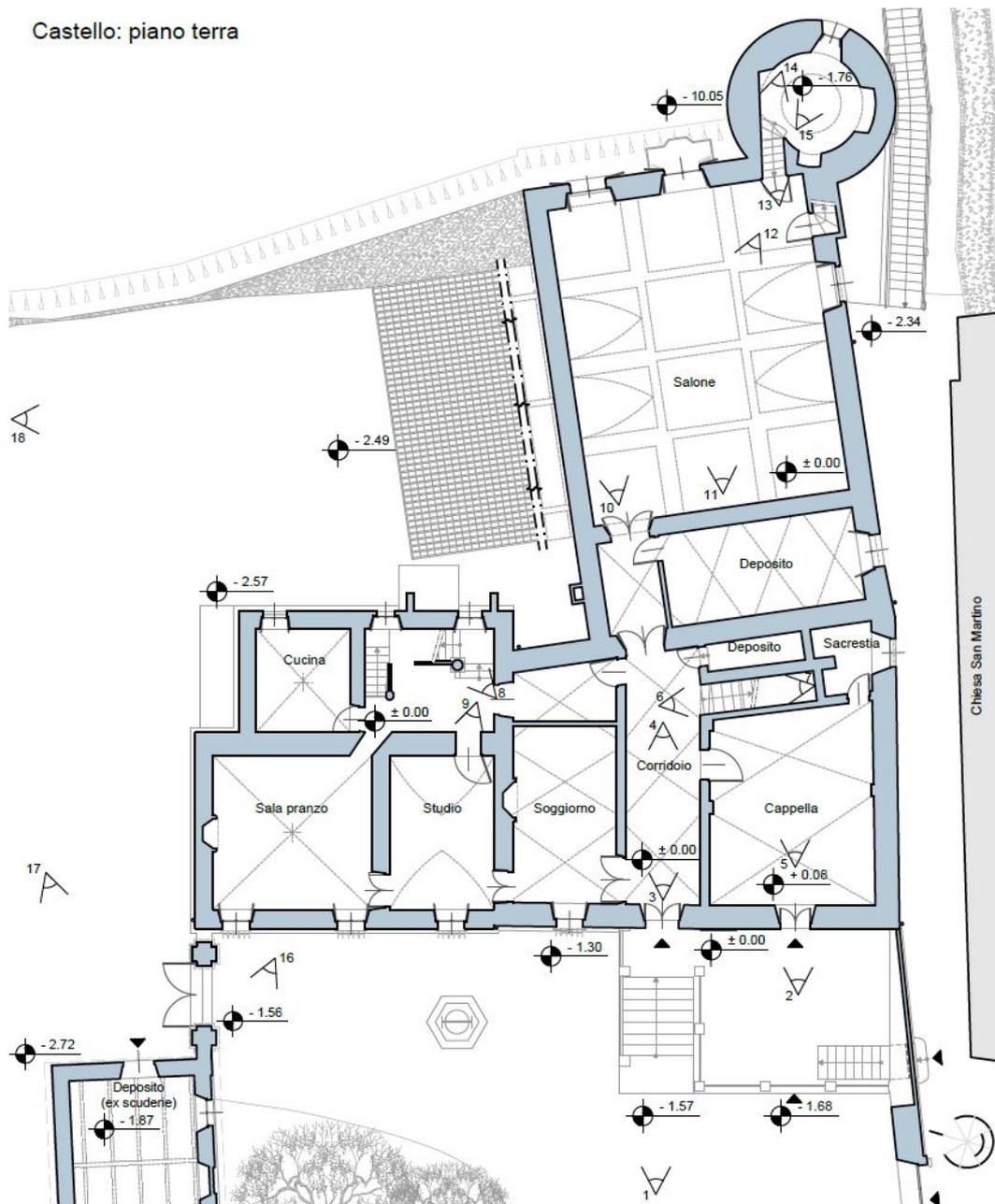


Figura 49. Pianta piano terra del castello. Coni ottici.

La figura seguente mostra le due porte d'ingresso ai locali interni del castello, che danno rispettivamente accesso al corridoio e alla cappella. Un arco a tutto sesto definisce l'ingresso principale.

Osservando la tessitura muraria emerge una differente forma e dimensione delle aperture, di epoca precedente.

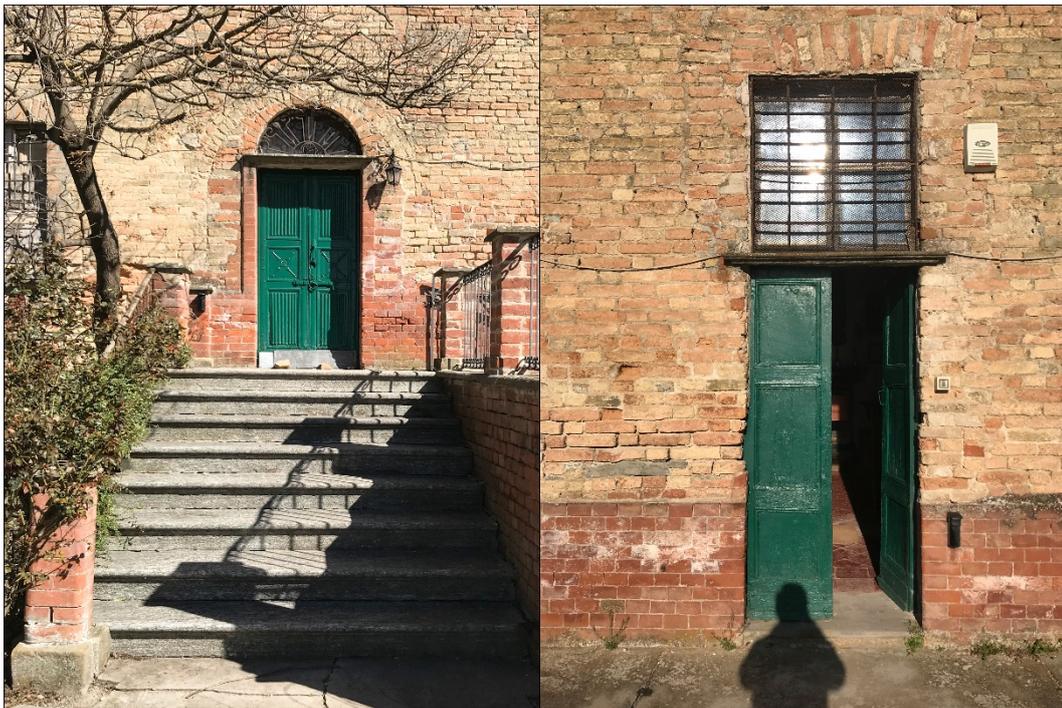


Figura 50. Cono ottico 1-2.

Gli ambienti interni del piano terra del castello presentano diverse tipologie di orizzontamenti a volta, in particolare:

- volta a crociera;
- volta a botte con teste a padiglione;
- volta a padiglione.

Tutti i vani del piano terra presentano un pavimento in cotto rosso, con mattonelle di dimensione 30 x 30 centimetri.



Figura 51. Cono ottico 3-4. Viste su corridoio con volte a crociera.

Le volte a crociera che caratterizzano il corridoio si sviluppano fino a raggiungere il salone, in questo modo è stato creato un asse che mette in relazione l'ambiente più importante e di rappresentanza del castello direttamente con l'ingresso principale.

La fotografia scattata nel punto "2" identifica l'accesso alla cappella del castello, posta ad una quota di 8 centimetri superiore rispetto al resto dei locali del piano terra. Tale vano del castello, come già citato ne capitolo 3 "Storia del castello di Calosso", è stato convertito in oratorio nel 1683 dopo la morte del vescovo Alessandro Sauli, per poi essere successivamente adibito a cappella, tuttora consacrata.

La figura 52 mostra la presenza di un altare realizzato con marmi policromi e di una piccola porta d'accesso alla sacrestia, ricavata nel sottoscala.

L'orizzontamento della cappella è formato da due volte a crociera.



Figura 52. Cono ottico 5. Vista su cappella e sacrestia.

Il collegamento con i restanti piani del castello è realizzato con due vani scala, realizzati con diverse tipologie costruttive, di seguito riportati.



Figura 53. Cono ottico 6-7.



Figura 54. Cono ottico 8.

Il locale adibito a studio presenta una volta a botte con teste a padiglione.



Figura 55. Cono ottico 9. Vista su locale adibito a studio.

Il salone sito al piano terra si estende su una superficie pari a circa 93 m² (10,80 x 8,65 m) e rappresenta il locale con la maggiore volumetria del castello di Calosso. Il vano consente l'accesso a due piani della torre e risulta esposto su tre fronti: nord, est e sud. Uno dei due finestroni posti sul lato esposto a nord dà accesso ad un balcone da cui si può apprezzare una vista sulla valle dominata dal castello di Calosso e sulla torre (figura 58).

Data la particolarità nello sviluppo e nell'articolazione della partizione orizzontale interna a volta, posta a copertura del salone e la presenza di problemi di natura strutturale, testimoniati dalla presenza di un puntello collocato a supporto di una trave lignea, ho scelto di concentrare attorno a questo locale le prove di diagnostica non distruttiva.

La struttura dell'orizzontamento a volta del salone è stata oggetto di numerosi confronti con il relatore e il correlatore. L'ipotesi più verosimile prevede la presenza di una struttura portante formata da archi in muratura con voltini in laterizio disposti in foglio, fatta eccezione per le due specchiature centrali, realizzate in canniccato all'interno di un reticolo di travi in lignee con funzione architettonica.



Figura 56. Cono ottico 10.

La volta che delimita superiormente il salone e gli stucchi risultano realizzati nel Settecento, periodo di importante trasformazione delle caratteristiche del castello.



Figura 57. Cono ottico II.



Figura 58. Vista sul paesaggio e sulla torre.

L'altezza di interpiano del salone risulta la più elevata tra quelle misurate nei locali del castello, raggiungendo 5,90 metri in corrispondenza delle travi lignee, 6,20 metri al centro dei voltini in cannicciato e 6,30 metri al centro dei voltini in laterizio. L'ipotesi sull'articolazione della struttura del solaio è riprodotta negli elaborati grafici riportati nella tavola 07 allegata alla tesi.



Figura 59. Cono ottico 12.

Una piccola porta conduce ad uno dei piani della torre, posto ad una quota inferiore rispetto al piano terra del castello e caratterizzato da una volta a cupola.



Figura 60. Cono ottico 13-14. Viste su rampa di scale d'accesso alla torre.



Figura 61. Cono ottico 15.



Figura 62. Cono ottico 16. Vista sul fabbricato "ex scuderie".



Figura 63. Cono ottico 17. vista su ingresso e interno del locale "ex scuderie".

Il fabbricato presente all'interno del giardino del castello risulta sviluppato su un piano fuori terra. Documenti storici analizzati durante la fase di ricerca in archivio ne riportano traccia a partire dal Settecento, con funzione di scuderie.

La figura 64 mostra parte del fronte del castello esposto a nord. Osservando l'immagine è possibile identificare i bolzoni delle catene estradossali degli archi in muratura che compongono l'orizzontamento a volta a copertura del salone; i bolzoni delle catene sono visibili su tutti i lati del castello e probabilmente risalgono XVIII secolo.

La tettoia e i vani adibiti a bagno identificabili nell'immagine di seguito riportata risultano costruiti in un periodo successivo, nel XX secolo.



Figura 64. Cono ottico 18. Vista su porzione del fronte del castello esposto a nord.

5.2.3 Castello: piano primo

Il primo piano del castello è adibito in gran parte a zona notte, è servito da due vani scala e presenta cinque camere da letto, un disimpegno, un deposito e tre bagni.

Tutti i locali del piano primo sono collegati tra loro e non sono presenti salti di quota all'interno degli ambienti.

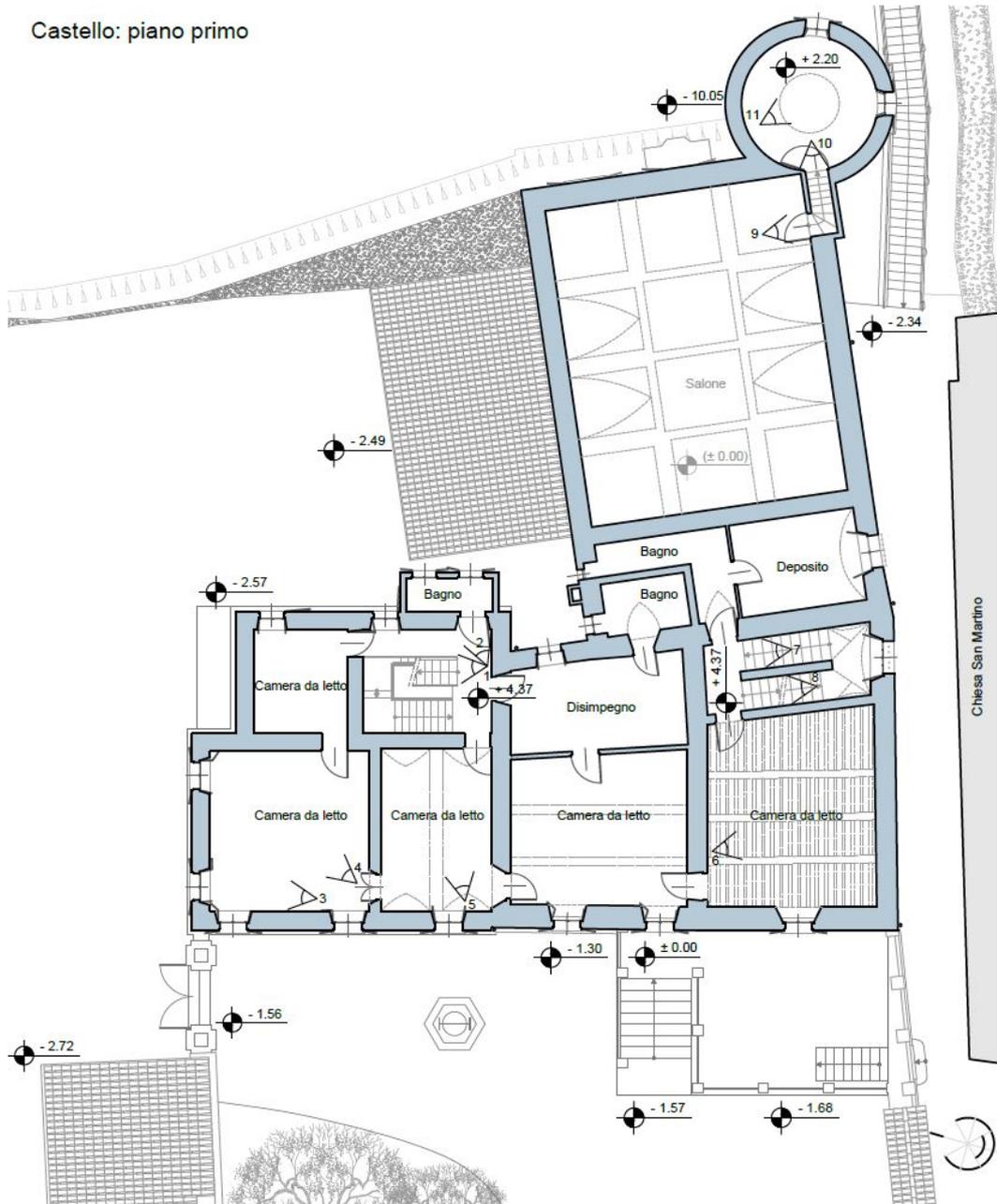


Figura 65. Pianta piano primo del castello. Coni ottici.



Figura 66. Cono ottico 1-2. Vista su scale e su porta d'accesso al bagno.



Figura 67. Cono ottico 3-4.

Gli orizzontamenti che separano i locali del primo piano da quelli del piano superiore sono realizzati in legno, con orditura a vista solo nella camera da letto padronale, illustrata nella figura 69.

Gli ambienti presenti al primo piano risultano luminosi e in buono stato di conservazione.

La camera da letto riportata nella seguente immagine presenta un soffitto intonacato, composto da una trave in legno e due voltini, realizzati in mattoni o in cannicciato.



Figura 68. Cono ottico 5.



Figura 69. Cono ottico 6. Vista su camera da letto padronale.



Figura 70. Cono ottico 7-8. Vista su rampe di scale a servizio del primo piano.

Nella pianta del primo piano del castello è stato scelto di riportare uno dei 5 livelli della torre, accessibile dal salone sito al piano terra e posto a cavallo dei due piani.



Figura 71. Cono ottico 9-10. Accesso e rampa di scala di collegamento con la torre.



Figura 72. Cono ottico 11. Vista interna della torre.

5.2.4 Castello: piano secondo

È possibile suddividere il secondo piano del castello in tre porzioni differenti, non collegate tra loro e poste a quote diverse l'una dall'altra.

Castello: piano secondo

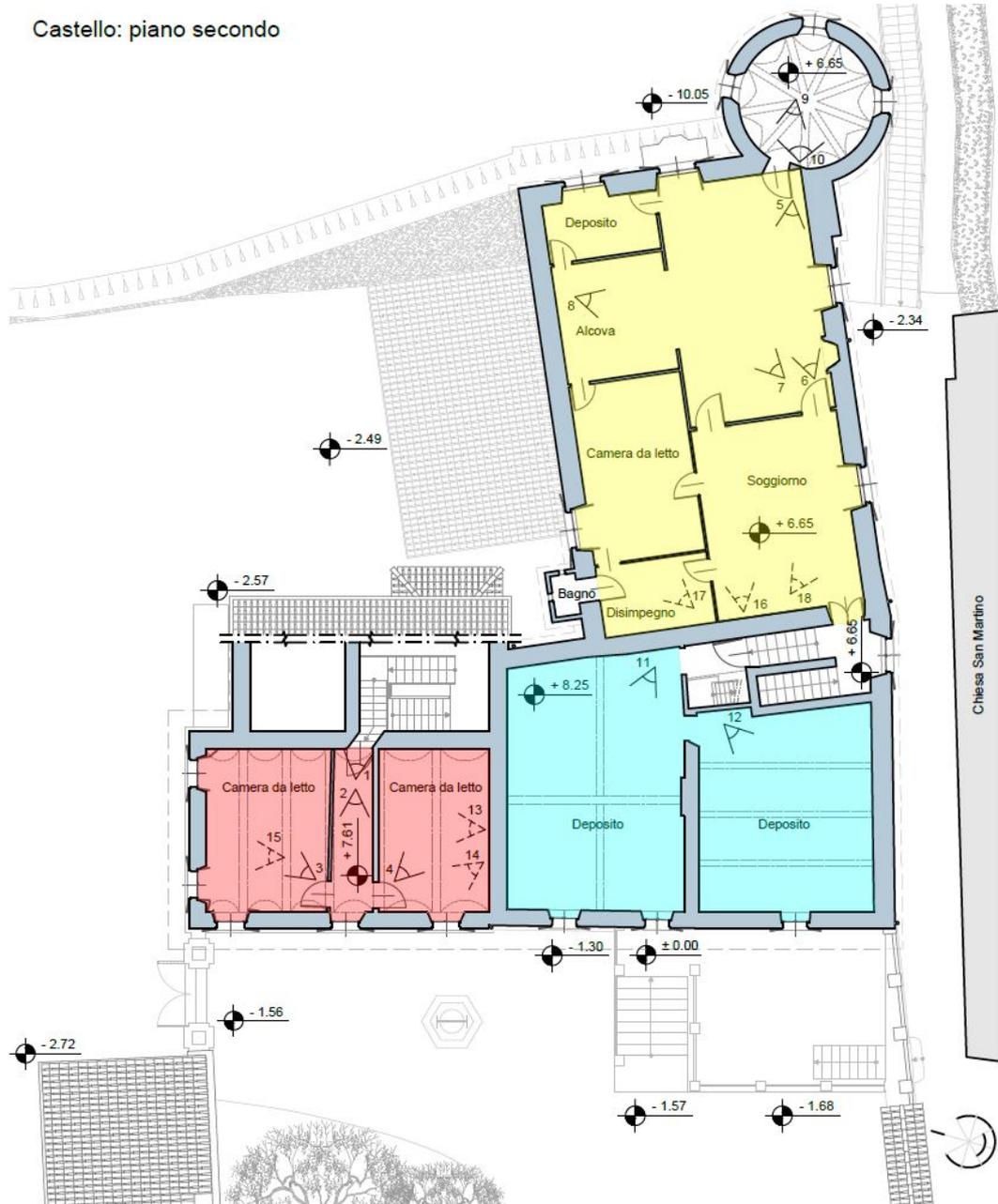


Figura 73. Pianta piano secondo del castello. Coni ottici.

La porzione del secondo piano esposta a nord e ovest, campita in rosso nella figura precedente, è adibita a zona notte e presenta un solaio interamente realizzato con travi lignee e voltini realizzati in laterizio, identificabili nelle figure 74-75.



Figura 74. Cono ottico 1-2. Vista su scala e corridoio di accesso alle camere da letto.



Figura 75. Cono ottico 3-4. Vista su camere da letto.

Il locale che si trova in corrispondenza del salone presenta una porzione di controsoffitto particolarmente degradato, composto da tavelle in laterizio da 4 cm e ferri di armatura lisci, appeso alle catene delle capriate lignee. Una parte del controsoffitto risulta mancante ed è evidente la presenza di quattro puntelli metallici e due lignei a sostegno della controsoffittatura, dell'architrave che definisce il vano con destinazione di alcova e della catena di una capriata lignea. L'origine del dissesto è da ricercarsi nella fessurazione della catena della capriata lignea.



Figura 76. Cono ottico 5-6.



Figura 77. Cono ottico 7-8. Vista su porzione di catena lignea e controsoffitto degradati.

All'interno dell'ambiente riportato nelle figure precedenti, campito in giallo nella pianta riportata nella figura 73, sono state svolte operazioni di rimozione di alcune mattonelle per provare a ricostruire parte della stratigrafia del solaio. I risultati di tali operazioni di indagine sono riportati nel capitolo successivo.

Il quinto e ultimo livello della torre del castello presenta una volta composta a raggiera o ombrello.



Figura 78. Cono ottico 9. Vista su ingresso e volta a raggiera della torre.



Figura 79. Cono ottico 10. Vista interna del quinto livello della torre.

L'ultima porzione del secondo piano, esposta a ovest e sud, campita in celeste nella figura 73, presenta la struttura della chiusura superiore a vista.



Figura 80. Cono ottico 11. Vista su struttura del tetto a due falde.



Figura 81. Cono ottico 12. Vista su locale con solaio ligneo imbarcato.

Le fotografie di seguito riportate mostrano lo sviluppo delle capriate lignee visibili nel sottotetto, in corrispondenza della zona notte campita in rosso nella pianta del secondo piano del castello.



Figura 82. Cono ottico 13. Vista su capriate lignee.

Le due seguenti fotografie mostrano rispettivamente un passafuori, fissato al puntone della capriata, e una vista sulla testa a padiglione della copertura a due falde inclinate.



Figura 83. Cono ottico 14-15. Vista su passafuori e su testa a padiglione.

Le capriate visibili nel sottotetto della porzione del secondo piano campita in giallo presentano dei puntoni realizzati con due travi lignee sovrapposte. Inoltre, a differenza delle capriate visibili nell'altra porzione del sottotetto, non presentano le catene lignee a vista.



Figura 84. Cono ottico 16. Vista su capriate.



Figura 85. Cono ottico 17-18. Vista su puntone della capriata.

6 Diagnostica

La diagnostica consiste in un'indagine conoscitiva dello stato di conservazione di manufatti, che precede un intervento conservativo o di restauro e permette la raccolta di dati non immediatamente acquisibili dall'osservazione diretta, inerenti alla composizione dei materiali utilizzati, ad aspetti costruttivi e strutturali degli edifici.

Un corretto progetto di diagnostica aumenta il livello di conoscenza preliminare del manufatto e consente un maggiore grado di definizione degli interventi di recupero da eseguire sul fabbricato. Il capitale investito per la redazione di tale progetto spesso si traduce in una riduzione del costo complessivo dell'intervento di recupero, in quanto la maggiore definizione dello stato di fatto del manufatto e delle lavorazioni preventivate consentono una diminuzione degli imprevisti in fase di esecuzione dei lavori.

La pianificazione delle indagini diagnostiche è funzione degli obiettivi del progetto di restauro e delle specifiche caratteristiche del manufatto su cui si dovrà intervenire³⁴.

L'importanza della diagnostica non si limita alla fase precedente alla redazione di un progetto di recupero, ma si protrae anche nella fase successiva alla conclusione del cantiere, in quanto consente un monitoraggio continuo del fabbricato e la verifica degli interventi effettuati.

La diagnostica analizza le modificazioni della struttura e dei materiali che la compongono prodotte da fenomeni di degrado, identificandone le cause e procedendo all'individuazione delle le soluzioni più idonee per arrestare o contenere gli effetti dei processi di deterioramento³⁵.

³⁴ (federica.unina.it)

³⁵ (treccani.it)

6.1 Diagnosi del degrado e prove diagnostiche

La diagnosi dei fenomeni di degrado sviluppati su un edificio storico può essere suddivisa nelle seguenti fasi:³⁶

1. raccolta di materiali e documentazioni storiche per ricostruire una corretta anamnesi dell'edificio;
2. esame visivo (osservazione diretta);
3. prove sui materiali e indagini strumentali;
4. monitoraggio dei fenomeni fessurativi e di degrado.

Il materiale raccolto e prodotto durante la fase di diagnosi del degrado permetterà la definizione di una mappatura del degrado, da riportare sui prospetti e sulle sezioni del fabbricato oggetto di studi diagnostici. In questo modo sarà possibile ottenere una fotografia completa e dettagliata dello stato di fatto del fabbricato, utile sia in fase di progettazione dell'intervento di recupero, sia come documento da inserire all'interno del libro dell'edificio.

Le indagini diagnostiche si distinguono in prove distruttive, parzialmente distruttive o non distruttive. Tali indagini possono essere effettuate in situ, direttamente sul manufatto oggetto di studi, oppure in laboratorio, previo prelievo di campioni da analizzare.

La differenza tra tecniche distruttive e non distruttive si riferisce all'impatto che le metodologie di analisi e la strumentazione utilizzata per lo svolgimento delle prove possono avere sul manufatto.

Le indagini distruttive consentono di ottenere risultati quantitativi, ma prevedono il prelievo di campioni, con conseguente asportazione di materia dal fabbricato.

Le prove non distruttive sono improntate all'ottenimento di risultati apprezzabili solo a livello qualitativo. In realtà, le metodologie di prova denominate "non distruttive" possono risultare microdistruttive, motivo per cui è comunque preferibile fare ricorso a tali tecniche con cautela³⁷.

³⁶ (Astrua & Nelva, 2016)

³⁷ (treccani.it)

La scelta dei punti di prelievo di campioni su cui eseguire le prove è funzione della metodologia di indagine da utilizzare. Occorre ridurre al minimo il numero e le dimensioni dei campioni, scegliendo le zone più significative per indagare in maniera precisa, seguendo il principio del minimo intervento.

Tra le prove più ricorrenti in campo edilizio, non distruttive o parzialmente distruttive (invasive), da svolgere in situ si riportano:³⁸

- igrometria, per determinare il contenuto di umidità di una muratura;
- termografia all'infrarosso, per individuare disomogeneità edilizie e costruttive dall'analisi di un'immagine termografica;
- endoscopia e videoendoscopia, per indagare sulla tipologia di materiali e strutture in zone inaccessibili;
- martinetti piatti, per valutare le caratteristiche meccaniche e le sollecitazioni agenti su una muratura;
- ultrasuoni, per individuare discontinuità all'interno del materiale indagato;
- prove soniche, per valutare la compattezza delle murature di edifici storici;
- magnetometria, per individuare barre di armatura, senza danneggiare il cls;
- sclerometria, per misurare la durezza di materiali compatti;
- determinazione dei sali solubili;
- georadar, per lo studio della prima porzione di sottosuolo;
- accelerometria, per valutare le tensioni di trazione su catene metalliche.

Tra le prove di laboratorio distruttive o parzialmente distruttive, in quanto richiedono l'estrazione di campioni di materiale, si riportano:

- diffrazione dei raggi X, per definire i parametri molecolari e strutturali di un composto inorganico o organico;
- microscopia ottica, per studiare efflorescenze e la stratigrafia di un intonaco;
- microscopia elettronica a scansione;
- porosimetria a mercurio, per determinare la porosità dei materiali;
- carotaggio, per determinare la stratigrafia di una muratura.

³⁸ (Astrua & Nelva, 2016)

6.2 Indagini diagnostiche eseguite

Le prove diagnostiche eseguite sul castello di Calosso hanno permesso di acquisire familiarità con le metodologie di indagine non distruttive e parzialmente distruttive di seguito riportate:

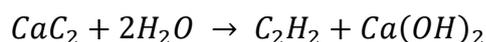
- metodologie per la determinazione del contenuto d'acqua in un campione di materiale lapideo (metodo al carburo di calcio);
- termografia ad infrarosso;
- videoendoscopia.

6.2.1 Metodo al carburo di calcio

La norma UNI 11121:2004 fornisce la metodologia rapida per la determinazione in campo del contenuto di acqua in un campione di materiale lapideo.

Il campione di materiale da verificare viene prelevato, sminuzzato, setacciato, pesato e quindi introdotto all'interno dell'apposito contenitore metallico insieme a delle sfere in acciaio e ad una ampolla predosata contenente carburo di calcio (CaC_2).

Alla base della determinazione del contenuto d'acqua in un campione di materiale lapideo con il metodo al carburo di calcio c'è la misura della pressione dell'acetilene sviluppato nella seguente reazione chimica:



La funzione delle biglie in acciaio è quella di permettere la rottura della provetta contenente carburo di calcio; in questo modo si dà avvio alla reazione chimica, di tipo esoergonica. La componente di umidità liberata dal campione reagisce con il carburo di calcio, contenuto nel reagente noto, producendo acetilene (C_2H_2), un gas altamente volatile. L'aumento di pressione che si verifica all'interno del contenitore risulta direttamente proporzionale al contenuto d'acqua inizialmente contenuta nel campione analizzato; tale incremento di pressione è rilevato da un manometro appositamente installato sul coperchio del recipiente.

A partire dalla lettura manometrica, utilizzando apposite tabelle di correlazione, è possibile ricavare il contenuto d'acqua presente nel campione.

6.2.1.1 *Strumentazione utilizzata*

Per l'esecuzione delle prove per la determinazione del contenuto di acqua in un campione di materiale lapideo è stato utilizzato un apparecchio CCM, prodotto dalla RADTKE MESSTECHNIK, in particolare il modello "Alu Business".

La dotazione dell'apparecchio CCM Alu Business prevede³⁹:

- maglio da 1 kg e martello da fabbro;
- scalpello piatto per prelievo campioni;
- cucchiaino corto per la raccolta del campione;
- spazzolino;
- bilancia per campioni digitale fino a 200 g;
- set con quattro sfere d'acciaio;
- piatto di sminuzzamento per campioni porosi;
- due vaschette per campioni con coperchio;
- set di minuterie con guarnizioni e ampolle di calibratura;
- set da 25 ampolle contenenti carburo di calcio;
- bombola standard tarata con termometro di superficie (secondo la direttiva in materia di attrezzature a pressione 97/23/CE);
- manometro business fino a 3,0 bar con coperchio ammortizzato secondo EN 837-2;
- valigetta delle apparecchiature in alu-look.

La strumentazione compresa nel kit utilizzato è stata integrata dall'utilizzo di un trapano e di scalpelli di diverse dimensioni, necessari per svolgere correttamente le operazioni di prelievo del campione da analizzare cercando di arrecare meno danni possibile sulle murature oggetto di indagine.

³⁹ (IT-CCM)

6.2.1.2 Esecuzione della prova

L'esecuzione delle prove con il metodo al carburo di calcio deve essere preceduta da una fase di pianificazione delle indagini, in modo da individuare i locali e i punti di prelievo di campioni in muratura che risultino più significativi in un'ottica di confronto di risultati ottenuti e formulazione di osservazioni critiche.

L'utilizzo della strumentazione per la determinazione del contenuto d'acqua in un campione di muratura prevede una preventiva fase di controllo e calibratura dell'apparecchio, necessaria per verificare la tenuta della bombola e la precisione del manometro.



Figura 86. Dotazione dell'apparecchio CCM Alu Business. (IT-CCM)

La fase di calibrazione prevede l'inserimento all'interno della bombola metallica delle biglie in acciaio, dell'ampolla di calibratura, contenente 1 g di acqua distillata, e dell'ampolla di carburo di calcio.

Successivamente si procede alla chiusura della bombola con l'apposito coperchio munito di manometro e si procede allo scuotimento del contenitore metallico. Tale movimento determina la rottura delle ampolle e l'inizio della reazione.

La reazione chimica termina nell'arco di circa due minuti e, affinché il risultato della calibrazione possa essere considerato positivo, la pressione finale deve essere di $1,00 \text{ bar} \pm 0,05 \text{ bar}$.

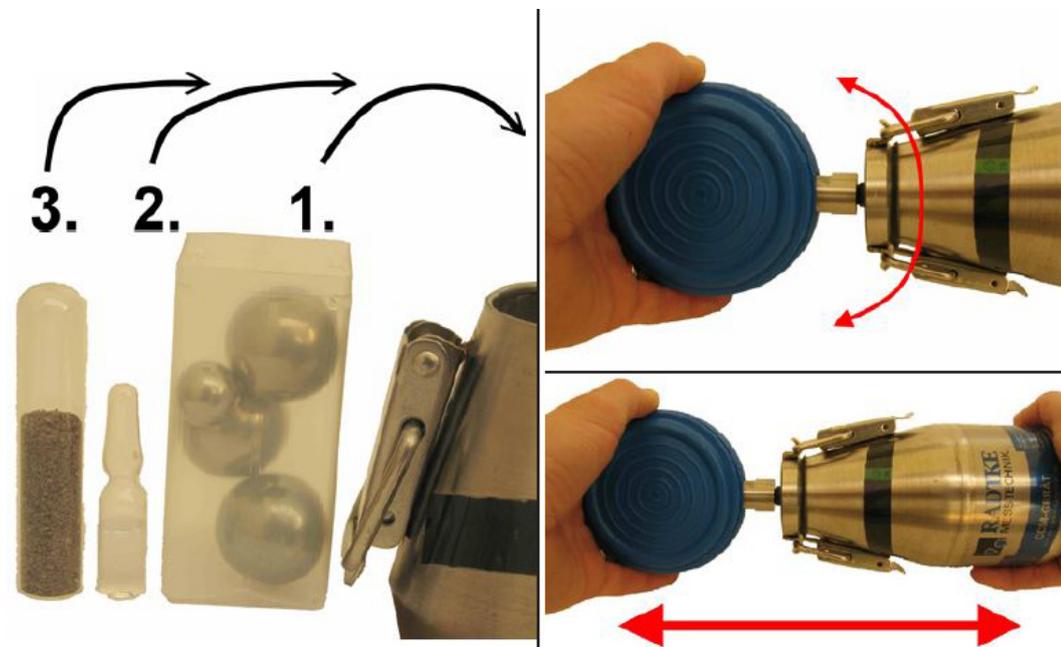


Figura 87. Fase di calibrazione.

Dopo aver effettuato la fase di calibrazione della strumentazione, con esito positivo, si è proceduto con la scelta dei valori di lettura del manometro, espresso come pressione (bar) o umidità (% in massa).

Il risultato della lettura manometrica è stato scelto espresso sottoforma di umidità (% in massa). Tale decisione ha determinato la pesata necessaria in funzione del contenuto d'acqua presunto all'interno del campione da analizzare.

d'acqua presunto	Pesata necessaria
1 %	100 g
2 %	50 g
5 %	20 g
10 %	10 g
20 %	5 g
30 %	3 g

Figura 88. Tabella per determinare la pesata necessaria in funzione del contenuto d'acqua presunto contenuto all'interno del campione da analizzare. (IT-CCM)

In alternativa è possibile scegliere i risultati della lettura manometrica espressi sotto forma di pressione (bar). Selezionando tale opzione, per determinare il contenuto d'acqua espresso in % occorre utilizzare la seguente tabella di conversione, che consente di correlare la massa del campione analizzato con i valori di pressione risultanti dalla lettura manometrica.

TABELLA DI CONVERSIONE: PRESSIONE UMIDITÀ DEL MATERIALE

Pressione Bar (nero)	Massa del campione					
	3g	5g	10g	20g (rosso)	50 g(verde)	100g (blu)
Contenuto d'acqua in % m/m riferito al contenuto secco						
0	0	0	0	0	0	0
0.2	6.3	3.8	1.9	0.9	0.38	0.19
0.3	9.7	5.8	2.9	1.5	0.58	0.28
0.4	13.0	7.8	3.9	2	0.78	0.38
0.5	16.3	9.8	4.9	2.5	0.98	0.47
0.6	19.7	11.8	5.9	3	1.18	0.57
0.7	23.0	13.8	6.9	3.5	1.37	0.66
0.8	26.3	15.8	7.9	4	1.57	0.76
0.9	29.7	17.8	8.9	4.5	1.76	0.85
1	33.3	20	10	5	1.96	0.95
1.1	36.7	22	11	5.5	2.16	1.05
1.2	40.0	24	12	6	2.35	1.14
1.3	43.3	26	13	6.5	2.55	1.23
1.4	46.7	28	14	7	2.74	1.33
1.5	50.0	30	15	7.5	2.94	1.42
Al di sopra di questa press., l'acetilene può decomporsi e danneggiare il manometro!						
1.6	53.3	32	16	8	3.13	1.51

Figura 89. Tabella di conversione pressione - umidità del materiale. (IT-CCM)

Il metodo al carburo di calcio è stato applicato nei locali siti nel piano interrato del castello, in cui sono stati riscontrati evidenti fenomeni di degrado associabili a fattori estrinseci e intrinseci.

L'analisi diagnostica all'interno del piano interrato si è concentrata nell'ampio locale posto in corrispondenza con salone del piano terra e nel piano -2 della torre, posto ad una quota inferiore.

Per valutare e verificare la variazione in funzione dell'altezza del contenuto d'acqua nella muratura sono stati effettuati tre campionamenti all'interno dell'ampio locale, un tempo adibito a cantina, eseguiti ad altezze diverse lungo la stessa verticale, e un solo campionamento sul paramento murario interno della torre.

Nella seguente figura si riportano i punti della muratura sulla quale sono state eseguite le prove al carburo di calcio, con indicazione della nomenclatura utilizzata per distinguere i campioni analizzati e dell'altezza di prelievo degli stessi.

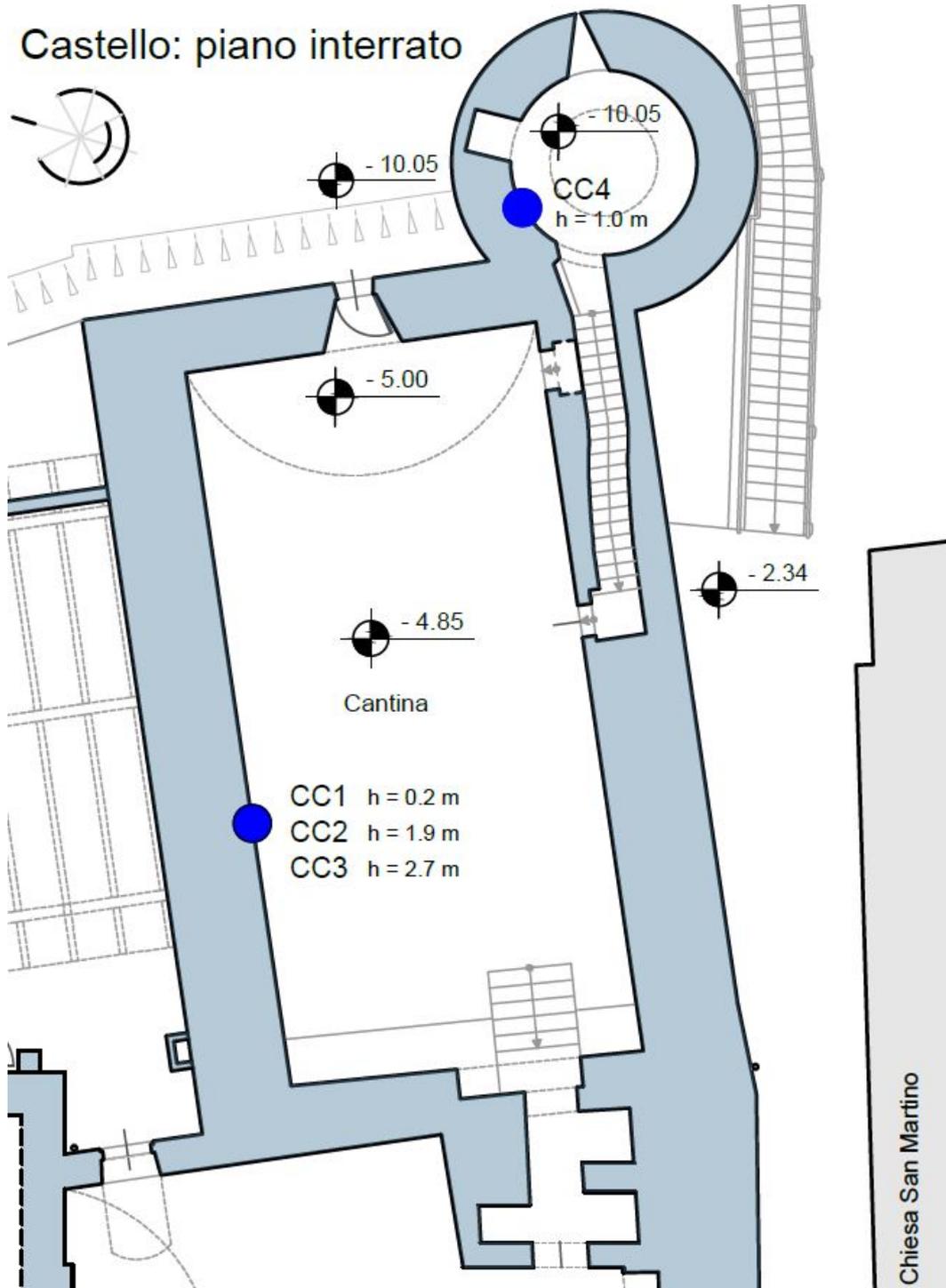


Figura 90. Stralcio pianta piano interrato con indicazione dei campioni per le prove al carburo di calcio.

La fase di prelievo del campione da analizzare ha previsto l'esecuzione di un foro nella muratura effettuato inizialmente con un trapano, utilizzato a basso numero di giri per limitare il surriscaldamento della punta e l'alterazione del campione estratto, e successivamente con martello e scalpello. Per diminuire il più possibile l'impatto della metodologia di prova sul manufatto si è scelto di utilizzare il trapano solo per la prima parte del prelievo di alcuni campioni, estratti dai giunti di malta tra i laterizi, per le prime tre prove, o dal mattone, come nel caso della prova CC4.

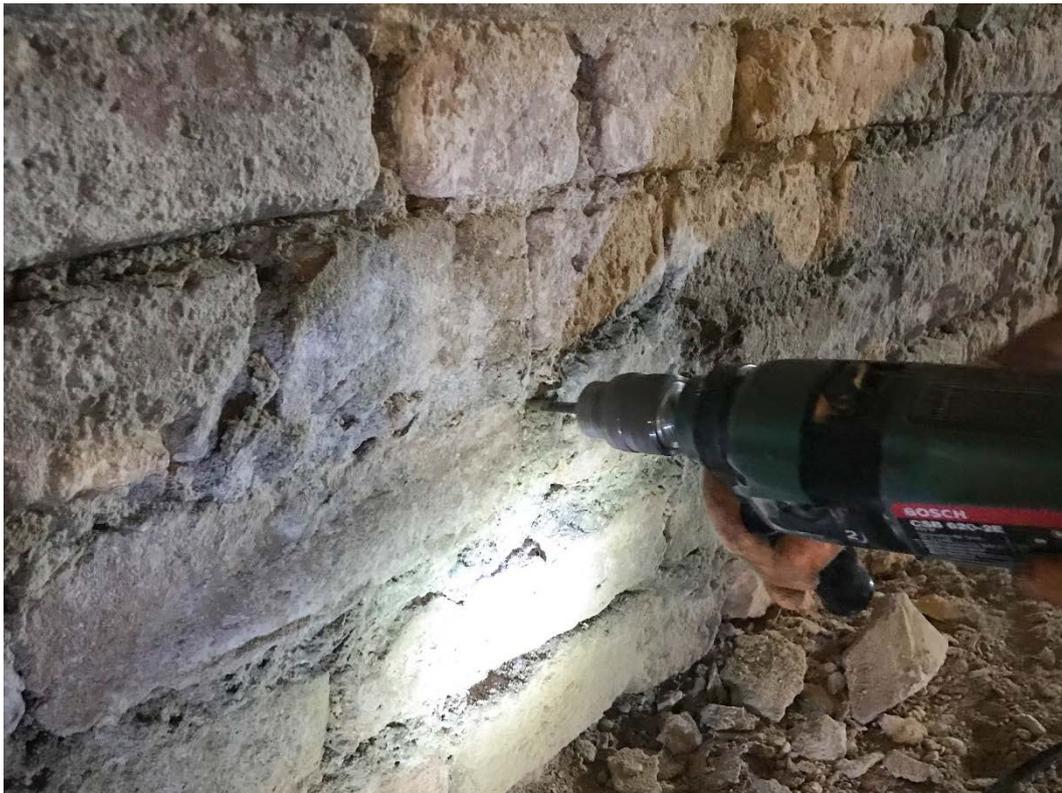


Figura 91. Fase di perforazione del giunto di malta con un trapano.

Il campione prelevato viene raccolto in un piatto metallico adatto ad un suo eventuale sminuzzamento. La quantità di campione necessario per lo svolgimento della prova, determinato in base all'umidità prevista all'interno del materiale, viene pesato sulla bilancia all'interno di un contenitore in plastica.

La fase successiva consiste nell'immissione all'interno della bombola metallica del set di sfere, del campione prelevato e pesato e dell'ampolla di vetro contenente carburo di calcio. Chiusa la bombola con il coperchio munito di manometro, si procede con un forte scuotimento del contenitore metallico, che determina la rottura

della fiala contenente carburo di calcio da parte delle sfere in acciaio con conseguente avvio della reazione chimica.

La bombola va agitata per un minuto, avendo cura di eseguire anche movimenti circolari per mescolare al meglio i reagenti. Tale operazione va ripetuta dopo circa 3 minuti. Il manometro digitale mostra la variazione di pressione all'interno della bombola ogni 5 secondi.

La singola prova può considerarsi terminata quando il valore visualizzato sul display non subisce ulteriori variazioni.

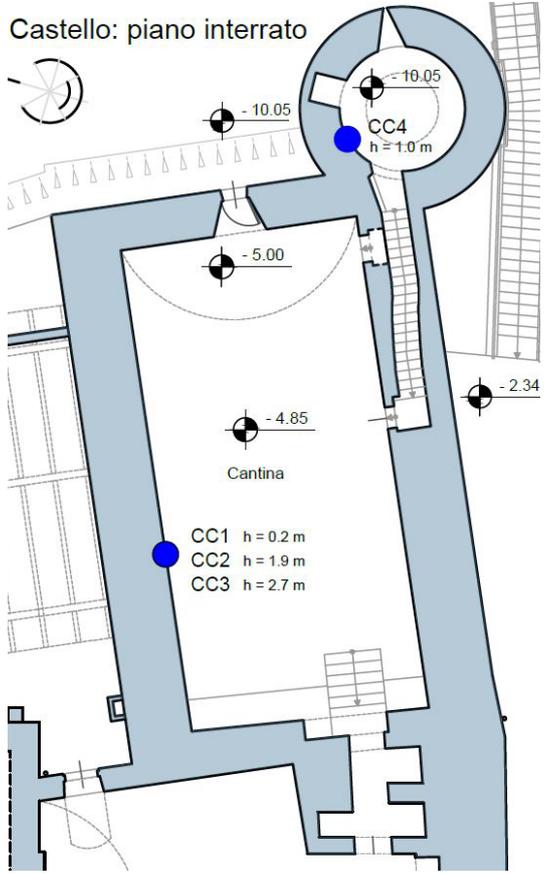
Dopo aver annotato il contenuto d'acqua presente nel campione analizzato si procede allo svuotamento del contenuto della bombola all'interno di un sacchetto di polietilene e alla pulizia del contenitore e delle sfere metalliche, in modo da evitare lo sfalsamento dei risultati di successive prove.

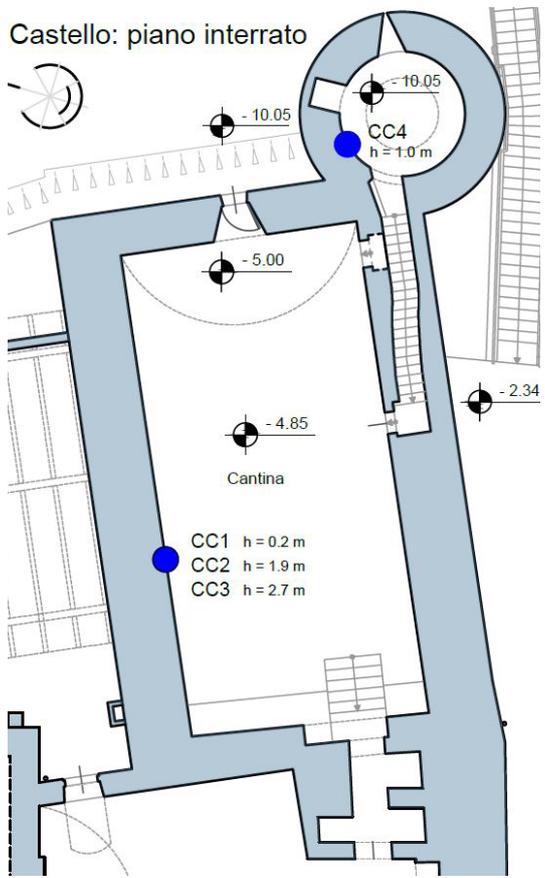
Durante lo svolgimento della prova diagnostica sono stati rilevati i parametri ambientali, temperatura e umidità relativa, con un misuratore di umidità prodotto dalla FLIR, modello MR 77. Tale operazione risulta importante sia per contestualizzare i risultati delle prove con le condizioni ambientali al contorno, sia in una futura ottica di confronto con i risultati di prove svolte in presenza di condizioni microclimatiche differenti.



Figura 92. Misuratore di umidità FLIR MR 77.

6.2.1.3 Risultati ottenuti

Determinazione del contenuto di acqua con il metodo al carburo di calcio	
Dati del campione	Fotografia del campionamento
Nome del campione: CC1	
Data del prelievo: 07/08/2019	
Ora del prelievo: 17:32	
Materiale: malta	
Profondità prelievo [cm]: 7	
Quota campionamento [cm]: 20	
Campione pesato [g]: 10,05	
UR [%]: 79,5	
T [°C]: 22,5	
Contenuto d'acqua [%]: 12,31	Peso campione estratto
Planimetria con indicazione prove CC	
<p>Castello: piano interrato</p> 	
Letture manometrica	
	

Determinazione del contenuto di acqua con il metodo al carburo di calcio	
Dati del campione	Fotografia del campionamento
Nome del campione: CC2	
Data del prelievo: 07/08/2019	
Ora del prelievo: 18:05	
Materiale: malta	
Profondità prelievo [cm]: 7	
Quota campionamento [cm]: 190	
Campione pesato [g]: 10,05	
UR [%]: 79,5	
T [°C]: 22,5	
Contenuto d'acqua [%]: 11,05	
Planimetria con indicazione prove CC	
 <p>Castello: piano interrato</p> <p>CC4 h = 1.0 m</p> <p>Cantina</p> <p>CC1 h = 0.2 m CC2 h = 1.9 m CC3 h = 2.7 m</p>	
	Peso campione estratto
	
	Lettura manometrica

Determinazione del contenuto di acqua con il metodo al carburo di calcio

Dati del campione	Fotografia del campionamento
Nome del campione: CC3	
Data del prelievo: 07/08/2019	
Ora del prelievo: 18:18	
Materiale: malta	
Profondità prelievo [cm]: 7	
Quota campionamento [cm]: 270	
Campione pesato [g]: 10,00	
UR [%]: 79,9	
T [°C]: 22,7	
Contenuto d'acqua [%]: 9,10	

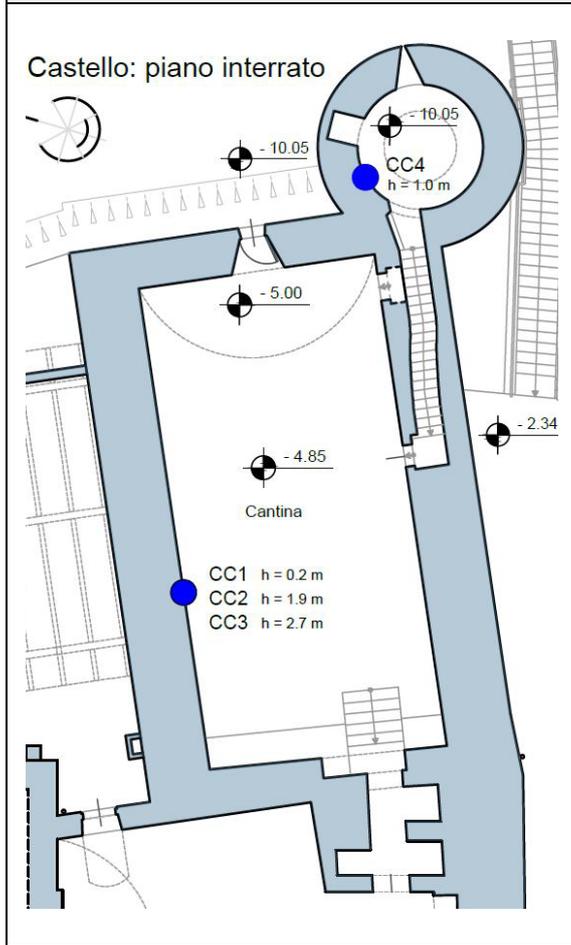
Peso campione estratto



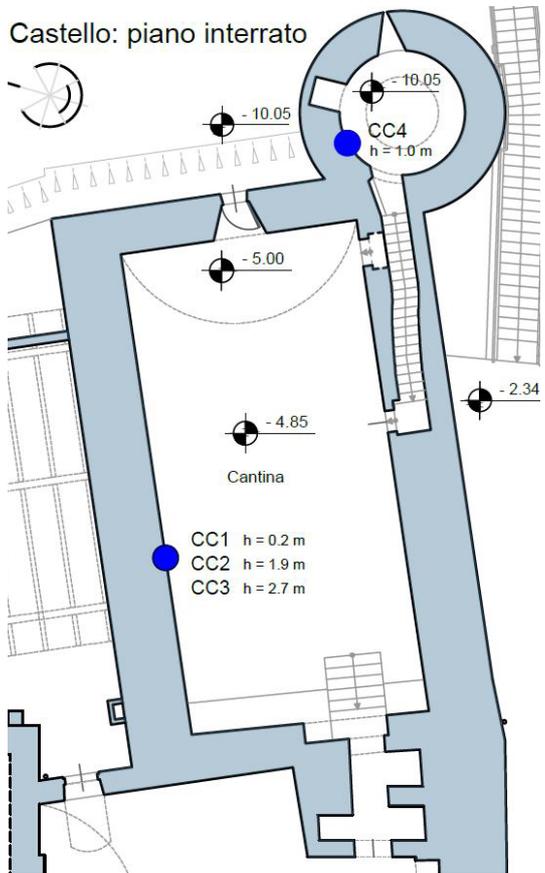
Lettura manometrica



Planimetria con indicazione prove CC



Determinazione del contenuto di acqua con il metodo al carburo di calcio

Dati del campione	Fotografia del campionamento
<p>Nome del campione: CC4</p> <p>Data del prelievo: 07/08/2019</p> <p>Ora del prelievo: 18:45</p> <p>Materiale: mattone</p> <p>Profondità prelievo [cm]: 7</p> <p>Quota campionamento [cm]: 100</p> <p>Campione pesato [g]: 10,00</p> <p>UR [%]: /</p> <p>T [°C]: /</p> <p>Contenuto d'acqua [%]: 10,44</p>	
	Peso campione estratto
	
	Letture manometrica
	
<p>Planimetria con indicazione prove CC</p>  <p>Castello: piano interrato</p> <p>CC4 h = 1.0 m</p> <p>CC1 h = 0.2 m</p> <p>CC2 h = 1.9 m</p> <p>CC3 h = 2.7 m</p> <p>Cantina</p>	

6.2.1.4 Ulteriori metodologie di analisi

Il contenuto d'acqua in un campione di materiale lapideo può essere determinato anche con altre metodologie di prova:

- igrometri elettrici (ad infissione o a contatto);
- metodo ponderale o gravimetrico.

6.2.1.4.1 Igrometri elettrici ad infissione

La misura dell'umidità derivante dall'utilizzo di igrometri elettrici può essere influenzata dalla presenza di sali all'interno del materiale analizzato, i quali possono accentuare il valore rilevato.

Gli igrometri ad infissione utilizzano il metodo ad infissione "distruttivo"⁴⁰. Il processo consiste nell'inserire due o più elettrodi all'interno del materiale lapideo oggetto di analisi. Tale procedimento prevede la rilevazione della resistenza elettrica, influenzata dalla percentuale di umidità presente nel materiale, nella zona compresa tra elettrodi.

La resistenza tra i due pin viene letta tramite un ponte di Wheatstone⁴¹; in linea di massima è possibile affermare che maggiore è l'umidità presente nel materiale, minore sarà la resistenza misurata tra i pin, seguendo una logica di proporzionalità inversa.

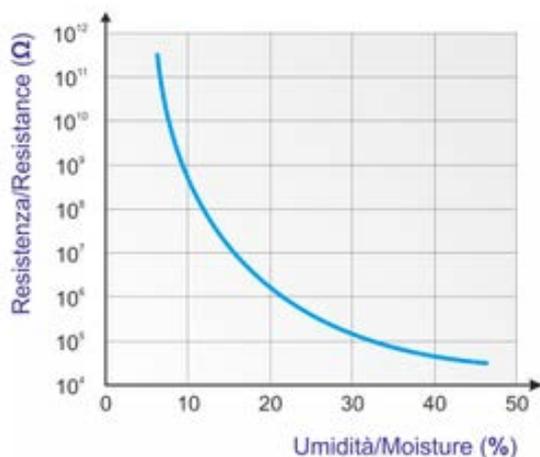


Figura 93. Grafico Umidità (%) - Resistenza (Ω). (stc-meters.com)

⁴⁰ (arwmisura.com)

⁴¹ (stc-meters.com)

Data la differente composizione tra i materiali analizzabili, la maggior parte degli strumenti di misura offre una selezione di diverse scale di conversione, fornite a corredo dello strumento. Queste scale di conversione si basano principalmente sul tipo di materiale e sulla sua densità. Il valore misurato corrisponde alla massima umidità riscontrata tra gli elettrodi.

Gli igrometri ad infissione possono disporre di diverse tipologie di elettrodi installabili, con numero di pin, forme e lunghezze differenti, in modo da poter ottenere un'indicazione sulla distribuzione dell'umidità all'interno del materiale e/o determinare il contenuto d'acqua più in profondità rispetto allo strato più superficiale.

Nella figura di seguito riportata sono indicati alcuni esempi di elettrodi ad infissione da installare sull'igrometro:



Figura 94. Tipologie di elettrodi ad infissione. (stc-meters.com)

È preferibile l'utilizzo di un igrometro ad infissione, rispetto ad un igrometro a contatto, nei seguenti casi:

- il materiale da analizzare presenta un'umidità elevata, superiore al 20-30 %;
- il materiale oggetto di misura presenta uno spessore inferiore a 2 cm;
- è prevista una distribuzione dell'umidità non uniforme;
- la velocità di misura ed il danneggiamento del materiale rappresentano aspetti secondari rispetto all'accuratezza richiesta.

6.2.1.4.2 Igrometri elettrici a contatto

Gli igrometri a contatto, definiti anche ad onde elettromagnetiche (EMW), utilizzano il metodo a contatto “non distruttivo”⁴², in quanto consentono di misurare l'umidità di un materiale senza l'infissione di pin. L'utilizzo di questa tipologia di igrometri prevede il contatto tra il sensore di misura e la superficie del materiale da analizzare. Il campo elettrico generato dall'igrometro si propaga all'interno del materiale sotto forma di onde elettromagnetiche ad alta frequenza.

Il campo elettrico generato reagisce diversamente a seconda dell'umidità presente nel materiale. La misura avviene sulla capacità elettrica, la quale è influenzata dalla costante dielettrica specifica di ogni materiale e varia in funzione del contenuto d'acqua in esso presente.

La misura del contenuto d'acqua presente nel materiale oggetto di analisi effettuata dall'igrometro a contatto può superare i 5 cm, con una sensibilità via via decrescente. La profondità di rilevazione risulta inversamente proporzionale all'aumentare della densità del materiale e al contenuto d'acqua presente al suo interno.

Anche l'igrometro a contatto permette la selezione della tipologia di materiale da analizzare all'interno di un menu dedicato, in modo da effettuare le misurazioni tenendo conto della densità propria di ciascun materiale.

Nella maggior parte dei casi l'influenza della temperatura sulle rilevazioni risulta trascurabile, tuttavia gli igrometri più avanzati ne tengono conto attraverso un fattore di correzione.

L'impiego dell'igrometro a contatto è consigliabile nel caso in cui:

- il materiale da analizzare presenta un'umidità inferiore a 8-10 %;
- risulta necessario non arrecare alcun danno alla superficie del materiale su cui effettuare la misura;
- si desidera effettuare numerose misurazioni in breve tempo.

⁴² (arwmisura.com)

6.2.1.4.3 Metodo ponderale o gravimetrico

Le procedure per la determinazione del contenuto d'acqua in un materiale lapideo con il metodo ponderale, detto anche gravimetrico, sono descritte nella norma UNI 11085:2003.

Il metodo consiste nel prelievo di un campione di muratura, previa rimozione dell'eventuale strato di intonaco, mediante una perforazione eseguita con un trapano a basso numero di giri.

Il campione prelevato va pesato e sigillato in provette in vetro ermetiche e numerate. Per determinare in maniera più esplicitiva il contenuto d'acqua nella muratura è opportuno eseguire più campionamenti, ad altezze differenti, in modo da confrontare il contenuto d'acqua di un campione prelevato in una zona umida, generalmente nella parte bassa della muratura, con un campione prelevato lungo la stessa verticale ad un'altezza maggiore, generalmente caratterizzato da un contenuto d'acqua minore.

Il campione estratto e sigillato nella provetta deve essere cotto entro 24-48 ore all'interno di una termobilancia, in modo da evitare l'alterazione delle sue caratteristiche. La fase di essiccazione del provino all'interno della termobilancia avviene ad una temperatura compresa tra 104 e 106 °C.

La differenza tra il peso del materiale umido, appena estratto dalla muratura, e il peso del campione essiccato determina il contenuto d'acqua all'interno del materiale analizzato con il metodo ponderale.

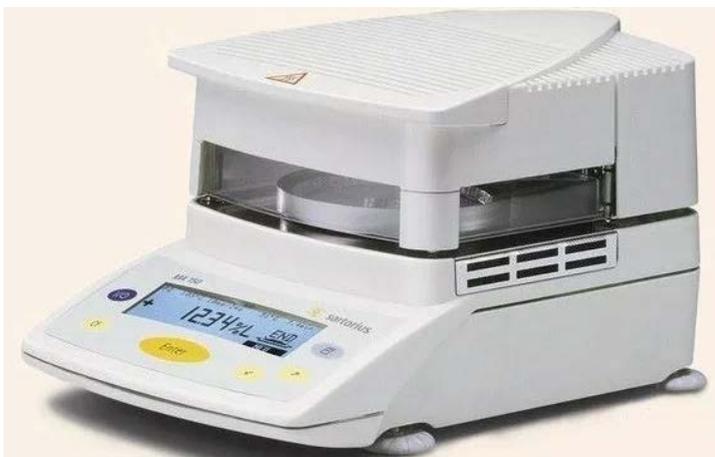


Figura 95. Termobilancia. (muriumidi.info)

6.2.1.5 Considerazioni sulle prove

Le prime tre prove di diagnostica eseguite con il metodo al carburo di calcio (CC1, CC2, CC3) sono state svolte lungo la stessa verticale, ad altezze diverse. I risultati ottenuti sono plausibili, infatti mostrano un contenuto d'acqua all'interno della muratura che presenta un andamento decrescente in funzione dell'aumento dell'altezza di estrazione dei provini analizzati.

Per rendere più significative le prove e definire gli ambienti dei locali interrati più umidi e con fenomeni di risalita capillare più estesi occorrerebbe eseguire ulteriori indagini diagnostiche in altri punti delle murature, confrontando i risultati ottenuti con l'utilizzo di metodologie e strumentazioni differenti.

La prova al carburo di calcio eseguita all'interno della torre mostra un risultato coerente con le altre tre prove svolte. Per rendere il risultato dell'indagine più completo potrebbe risultare interessante determinare il contenuto d'acqua presente nelle murature di tutti i livelli della torre, effettuando campionamenti in punti posti alla stessa quota rispetto al piano di calpestio di ciascun piano e collocati, per quanto possibile, lungo la stessa verticale. È opportuno che tali indagini siano svolte in un ristretto lasso temporale, in modo che i parametri ambientali non subiscano variazioni che possano rendere poco efficace il confronto tra i risultati ottenuti.

Per rendere più significativi i risultati delle prove svolte sarebbe necessario pianificare un'attività di monitoraggio delle condizioni microclimatiche presenti nei locali interrati più interessati da fenomeni di degrado.

Il posizionamento di sonde termoigrometriche consentirebbe l'acquisizione di valori di temperatura e umidità relativa ad intervalli di tempo preimpostati, generalmente ogni 30 minuti o ogni ora, in modo da poter definire, graficizzare e confrontare le variazioni di tali grandezze in funzione delle condizioni climatiche esterne, valutandone l'andamento medio annuale, stagionale e/o mensile.

L'attività di monitoraggio delle condizioni microclimatiche può risultare utile non solo in fase di diagnosi e definizione dei criteri di intervento da inserire nel progetto di recupero, ma anche dopo la fine dei lavori, in quanto consentirebbe la valutazione quantitativa dei miglioramenti dei parametri ambientali interni del manufatto.

6.3 Termografia all'infrarosso

La termografia all'infrarosso rappresenta una tecnica di indagine diagnostica non distruttiva e non invasiva. La termocamera utilizzata durante lo svolgimento di tali prove rileva l'energia emessa dai corpi sotto forma di radiazione elettromagnetica infrarossa e la rappresenta attraverso matrici di temperatura, nelle quali ad ogni intervallo di temperatura è associato un colore differente. Il risultato di una acquisizione termografica è un termogramma, ovvero un'immagine in falsi colori. La rilevazione della radiazione elettromagnetica emessa dall'oggetto su cui stiamo svolgendo le analisi, consente di misurarne la temperatura con una precisione che può raggiungere i centesimi di grado⁴³.

L'indagine termografica può essere di tipo passivo, senza modificazione delle condizioni ambientali in sito, o attivo, con riscaldamento artificiale delle superfici da analizzare. In caso di indagine termografica attiva, le acquisizioni saranno eseguite sia durante la fase di riscaldamento, sia durante la fase successiva.

Il ricorso a metodologie di riscaldamento degli ambienti, che prevedono l'utilizzo di generatori di aria calda a GPL o di specifiche lampade, risulta necessario nel momento in cui il salto termico presente tra interno ed esterno non sia sufficiente per il corretto svolgimento della prova.

L'esecuzione di indagini termografiche su pareti e soffitti di pregio, caratterizzati dalla presenza affreschi o particolari decorazioni, necessita di maggiore cautela durante la fase di riscaldamento delle superfici, in modo da non sottoporre i materiali analizzati a variazioni di temperatura troppo repentine che potrebbero causarne un danneggiamento.

L'indagine termografica fornisce in tempo reale sul display della termocamera le differenti risposte termiche prodotte dai diversi materiali che compongono il supporto murario indagato, registrandone le emissioni infrarosse.

I molteplici materiali che compongono un manufatto murario si differenziano soprattutto in funzione della loro inerzia termica, che definisce la velocità con la quale si verifica una variazione di temperatura in seguito ad una sollecitazione

⁴³ (Astrua & Nelva, 2016)

termica indotta naturalmente per irraggiamento solare o artificialmente per riscaldamento tramite lampade, stufe o termoconvettori⁴⁴.

La metodologia di svolgimento delle indagini termografiche è riportata nella norma UNI EN 13187.

Affinché l'indagine termografica risulti efficace occorre sfruttare il salto termico che si produce tra l'oggetto da analizzare e l'ambiente circostante, cercando di concentrare le indagini nei momenti più favorevoli.

Nel caso di indagini termografiche su superfici esterne le migliori condizioni risultano le ore serali o notturne, nelle quali si ha il massimo rilascio di calore, accumulato durante il giorno, da parte delle strutture.

La termografia ad infrarossi come metodologia di diagnostica non distruttiva può essere impiegata per:

- valutare la tessitura muraria, la presenza di ricuciture e risarciture, porte e finestre murate e stratificazioni nelle murature (eseguire le operazioni in presenza di irraggiamento diretto);
- individuare lesioni, anche risarcite con materiale non congruo;
- identificare porzioni di distacco di intonaco;
- individuare la presenza di cavità (anche canne fumarie) o discontinuità nelle murature;
- identificare zone soggette ad umidità di risalita e fronti evaporativi;
- determinare la distribuzione dei ferri d'interfaccia in strutture in calcestruzzo armato;
- identificare la presenza di ponti termici;
- individuare elementi lignei o metallici (bolzoni, catene, ecc.);
- identificare archi di scarico, piattebande, pilastri e altri elementi strutturali;
- valutare l'articolazione della struttura portante di solai lignei, di volte composte e complesse, di controsoffitti in cannocciato con relativa struttura lignea di supporto, ecc.

⁴⁴ (Blasi, 1999)

6.3.1 Scopo delle indagini

La termografia ad infrarosso è stata scelta come metodologia di indagine diagnostica non distruttiva con l'obiettivo di:

- identificare la presenza di fenomeni di umidità di risalita capillare nelle murature;
- individuare variazioni e discontinuità nella tessitura muraria;
- identificare porzioni di murature interessate dalla presenza di cavità al loro interno, o di tamponature di porte, finestre e archi.

6.3.1.1 *Umidità di risalita capillare*

L'umidità di risalita capillare si manifesta nelle murature in corrispondenza dei piani terra o interrati, e si sviluppa anche fino ad altezze di alcuni metri oltre il livello del piano terra. Questa forma di umidità nei muri è dovuta essenzialmente alla capacità dell'acqua di penetrare nelle murature e di risalire verso l'alto, in apparente contrasto con la gravità, attraverso i capillari (sottilissimi condotti) presenti nei materiali costituenti le murature stesse.

Per capillarità si intende quel complesso di fenomeni che si verificano sulla superficie libera di un liquido che si trova all'interno di tubi capillari, all'interno dei quali la superficie del fluido non risulta piana, ma assume la forma di una calotta sferica, concava o convessa, in base alla tipologia del fluido e della natura delle pareti del capillare stesso.

Dal punto di vista fisico, tale complesso fenomeno è innescato da forze di tipo elettrico che le pareti interne dei capillari esercitano sulle molecole d'acqua presenti nel terreno a contatto con la muratura. La capacità di adesione del fluido rispetto alle pareti dei capillari è funzione della dimensione dei capillari stessi. Infatti, più il diametro dei capillari è piccolo e maggiore sarà la risalita dell'acqua all'interno degli stessi, i quali fungono da canali di veicolazione dell'acqua.

Il fenomeno della risalita capillare è dovuto alle interazioni fra le molecole del fluido e quelle del solido (pareti dei capillari) sulla loro superficie di separazione. Le forze in gioco che si manifestano in tale fenomeno sono la coesione tra le molecole del fluido, l'adesione tra fluido e solido e la tensione superficiale.

Le molecole di un fluido in prossimità delle pareti sono soggette alla forza di coesione del fluido F_c diretta verso l'interno del fluido, alla forza di adesione fluido-gas $F_{a,a}$ diretta verso l'interno del gas e alla forza di adesione fluido-solido F_a , diretta verso l'interno del solido.

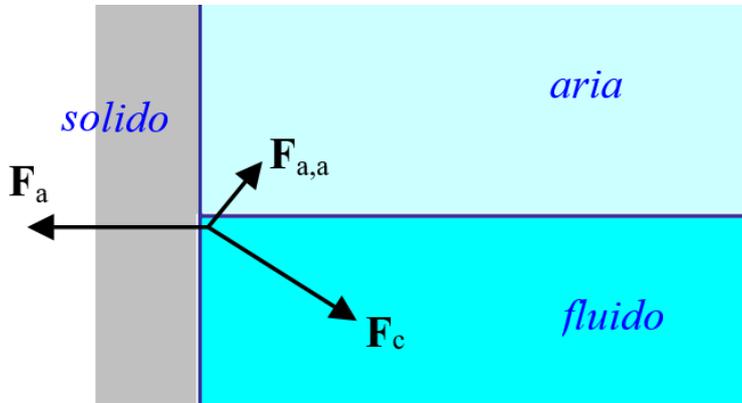


Figura 96. Forze di adesione e coesione tra fluido, gas e solido. (ba.infn.it)

La forza di adesione fluido-gas $F_{a,a}$ risulta così debole da poter essere trascurata.

Le restanti due forze, vista la loro direzione e verso, non possono avere risultante nulla. In condizione di equilibrio la superficie libera del fluido deve risultare ortogonale alla risultante delle forze agenti. Possono verificarsi 2 casi a seconda della tipologia di fluido e di solido:

a) $F_a > F_c$

b) $F_a < F_c$

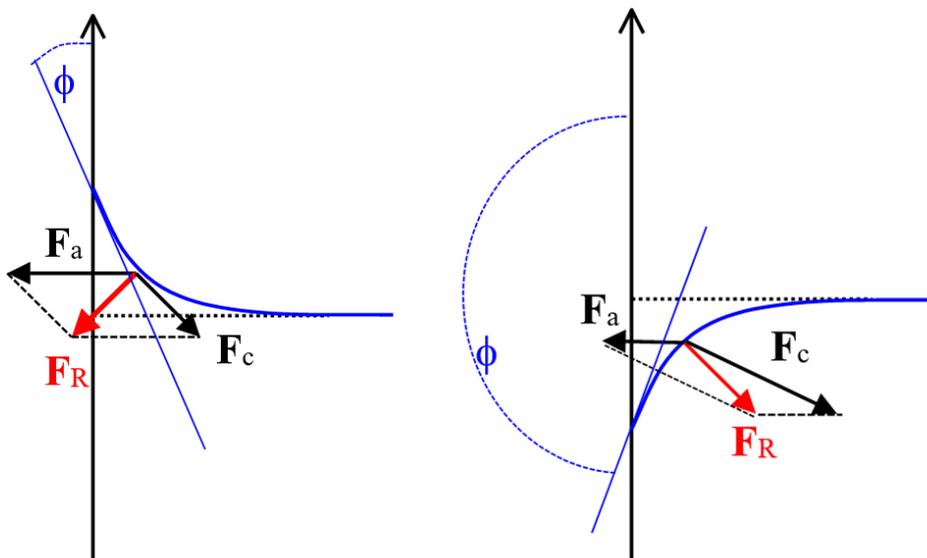


Figura 97. Effetti della risultante delle forze sul liquido. (ba.infn.it)

Nel caso a) si verifica un innalzamento del liquido lungo la parete; ciò comporta una forma della superficie libera del fluido concava e l'angolo di raccordo ϕ risulta: $0 < \phi < \pi/2$.

Nel caso b) si verifica un allontanamento del liquido dalla parete; ciò comporta una forma della superficie libera del fluido convessa e l'angolo di raccordo ϕ risulta: $\pi/2 < \phi < \pi$.

Per calcolare l'altezza del fronte di risalita dell'acqua all'interno di una muratura si può utilizzare la formula di Jurin, che permette di determinare, per un capillare cilindrico di raggio r , l'innalzamento o l'abbassamento h del fluido nel capillare rispetto a quello del liquido nel recipiente esterno:⁴⁵

$$h = \frac{2\gamma \cos \phi}{\rho g r}$$

dove:

- h è la variazione di quota del fluido nel capillare rispetto a quello del liquido nel recipiente esterno;
- γ è la tensione superficiale (J/m^2 o N/m);
- ϕ è l'angolo di raccordo tra la superficie del fluido e la parete del contenitore;
- ρ è la densità del fluido (kg/m^3);
- g è l'accelerazione di gravità (m/s^2);
- r è il raggio del capillare (m).

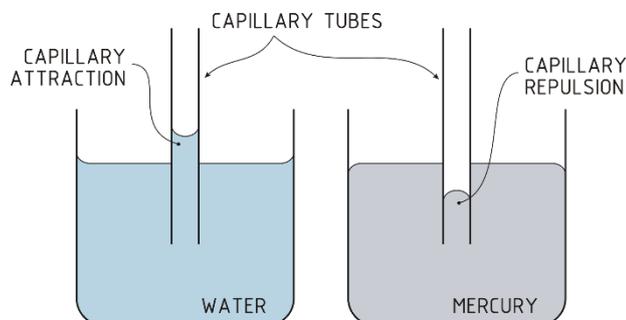


Figura 98. Effetti della capillarità per l'acqua e il mercurio. (wikipedia.org)

⁴⁵ (wikipedia.org)

Considerando che le dimensioni dei capillari possono attestarsi nell'ordine dei 3-10 μm , sarebbe lecito aspettarsi altezze di risalita dell'umidità molto elevate. L'altezza di risalita reale risulta minore di quella teorica a causa dell'evaporazione, della presenza di pori più grandi e di altri fattori; ciò non esclude che l'umidità di risalita possa raggiungere altezze considerevoli, in misura inversamente proporzionale all'evaporazione e alla dimensione dei pori.

Il fronte di risalita identificabile all'esterno di una muratura non coincide con l'effettiva altezza massima raggiunta dall'acqua attraverso le cavità presenti nei materiali; infatti, il profilo dell'umidità di risalita segue un andamento a campana e l'altezza di picco della risalita capillare sarà raggiunta all'interno del paramento murario.

L'adesione elettrica tra le molecole dell'acqua e le pareti del vaso capillare avviene grazie alla polarità. Si crea attrazione tra le cariche positive degli atomi di idrogeno H^+ dell'acqua e le cariche negative di ossigeno O^- presenti sulle pareti dei vasi capillari di una muratura, generalmente caratterizzate da una componente silicea.

Per farsi un'idea qualitativa sull'entità dell'umidità di risalita si misura la differenza di potenziale su varie porzioni della muratura interessata dal fenomeno di risalita capillare con un tester elettrico (differenza di potenziale pari a 10-20 mV = risalita debole; differenza di potenziale pari a 300-500 mV risalita capillare molto forte).

6.3.2 Modalità di esecuzione delle prove

Le indagini termografiche sono state svolte all'esterno del castello, cercando di sfruttare il transitorio termico naturale dovuto alla variazione di irraggiamento in funzione dell'esposizione delle superfici indagate.

Per lo svolgimento dell'indagine termografica sono stati impiegati:

- termocamera FLIR T540;
- misuratore di umidità FLIR MR77, per il rilievo dei parametri ambientali;
- distanziometro laser, per collocare il punto di acquisizione all'interno della planimetria dell'area esterna del castello.



Figura 99. Termocamera FLIR T540.

L'indagine termografica ha previsto la sistemazione dell'attrezzatura in 9 postazioni differenti, totalizzando 14 acquisizioni termografiche, effettuate in modalità passiva e su superfici murarie non soggette alla radiazione diretta del sole.

In concomitanza con le indagini termografiche sono stati monitorati i parametri di temperatura e umidità relativa in ognuna delle postazioni scelte per la prova.

Le ottiche montate sulla termocamera sono state scelte in funzione dell'estensione della porzione di superficie da analizzare e della distanza dal punto di acquisizione del termogramma.

Le postazioni di acquisizione dei termogrammi sono di seguito riportate:

Castello: piano terra

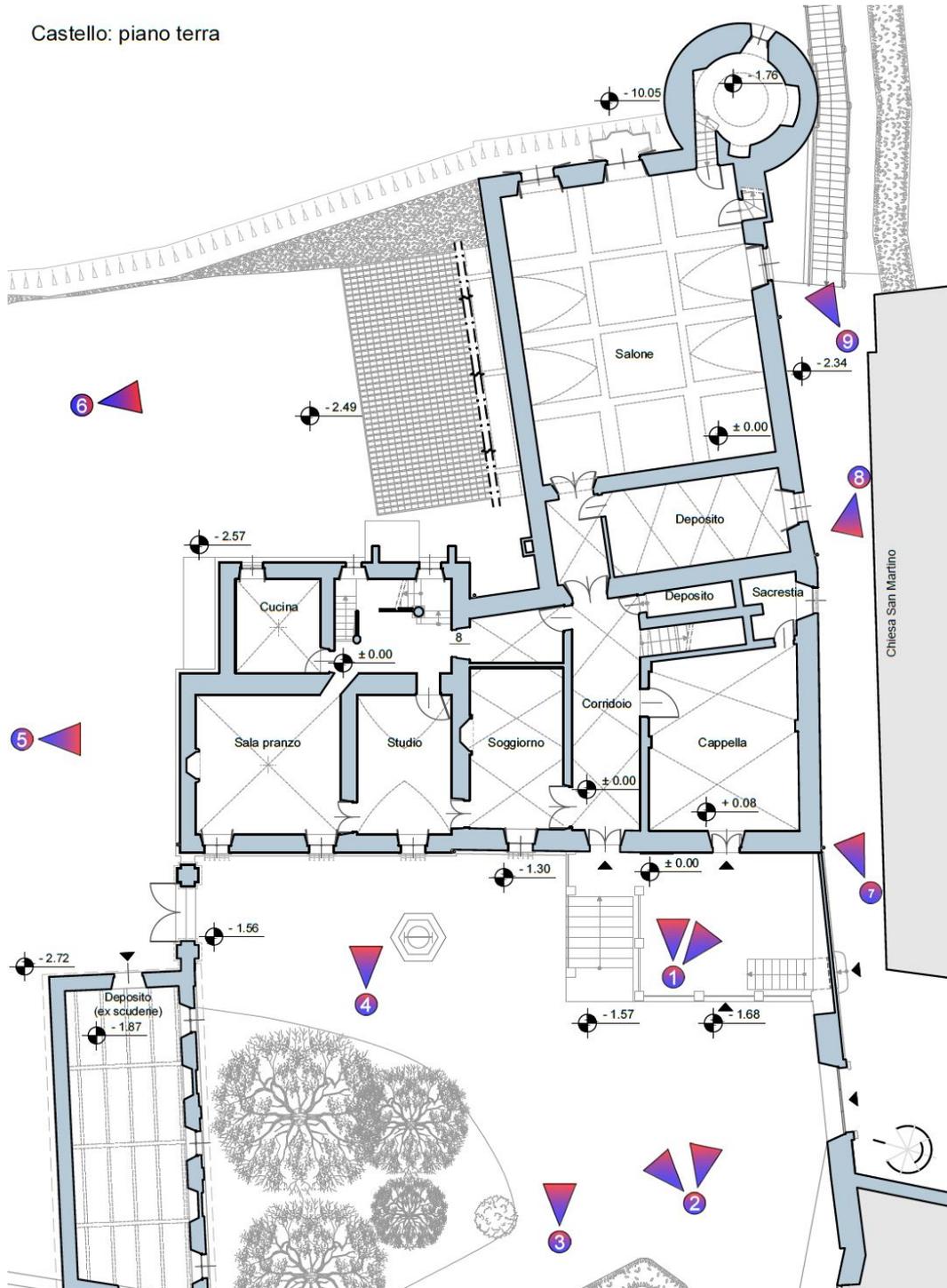


Figura 100. Stralcio della planimetria del castello con indicazione dei punti di stazione.

6.3.3 Risultati ottenuti

Le acquisizioni termografiche hanno interessato diverse superfici esterne del castello, nello specifico:

- acquisizione 1, 1.1, 2, 2.1, 3, 4: superfici esterne esposte a ovest;
- acquisizione 5, 5.1, 6, 6.1: superfici esposte a nord;
- acquisizione 7, 8, 9, 9.1: superfici esposte a sud.

L'orario di esecuzione dei rilievi all'infrarosso e la nuvolosità della giornata hanno consentito l'acquisizione di immagini termografiche in assenza di irraggiamento solare diretto.

Le acquisizioni termografiche 1 e 1.1, eseguite dalla postazione 1, hanno interessato porzioni del paramento murario del castello in corrispondenza dell'accesso principale ai locali interni e della porta di ingresso alla cappella. Dall'analisi qualitativa dei termogrammi non risulta identificabile un fronte di umidità di risalita capillare, dovuto al non contatto di tale porzione di muratura con il terreno. Il termogramma 1 mostra una porzione di muratura con temperatura più bassa, dovuta alla presenza di alberi e vegetazione.

Le immagini termografiche 2 e 2.1, acquisite dalla postazione 2, non mostrano apprezzabili differenze di distribuzione di temperature sulle murature.

Il termogramma 3 è stato acquisito sostituendo l'ottica IR con lunghezza focale pari a 10 mm con una 29 mm; il minore angolo di campo di tale obiettivo, pari a 14°, ha consentito di inquadrare una porzione più ristretta della muratura, funzionando da teleobiettivo. La scelta di indagare su tale porzione di muratura è dovuta all'individuazione di due finestre tamponate, disposte sulla stessa verticale. Il rilievo termografico non ha reso più evidenti tali aperture tamponate.

L'acquisizione termografica 4 non identifica un'evidente presenza di umidità.

Dall'analisi dell'immagine termografica 5 risulta visibile una porzione di muratura più fredda, interessata da fenomeni di umidità di risalita, imputabili al contatto diretto della muratura con il terreno.

L'immagine termografica 5.1 è stata acquisita dalla postazione 5 con l'obiettivo di rendere palese la presenza della canna fumaria, identificata durante la fase di rilievo planimetrico e posta quasi in corrispondenza della mezzeria del paramento murario.

L'immagine termografia 6 mostra evidenti e giustificate differenze di temperatura tra la tettoia e il paramento murario esposto a nord. Tale acquisizione ha consentito di identificare una variazione di temperatura della porzione di muratura compresa tra il secondo e il terzo bolzone, numerati partendo dal primo visibile sulla sinistra del paramento murario, che potrebbe rappresentare una ricucitura muraria soggetta a fenomeni di distacco.

Per ottenere un termogramma più concentrato su tale zona di discontinuità è stata effettuata un'ulteriore acquisizione termografica (6.1) montando un'ottica con lunghezza focale di 17 mm sulla termocamera.

Le acquisizioni termografiche 7, 8, 9, 9.1 sono state effettuate lungo la strada che separa il lato sud del castello dalla chiesa di San Martino. L'acquisizione 7 e 8 mostrano lo sviluppo dell'umidità di risalita capillare nella parte bassa della muratura esposta a sud. Tale fenomeno è in gran parte dovuto all'ombra creata dalla volumetria della chiesa su un'ampia porzione della muratura del castello.

Le immagini termografiche 9 e 9.1 si concentrano sull'intersezione tra la muratura del castello e della torre. L'immagine 9.1 mostra una zona più calda posta al di sotto della finestra del salone, imputabile alla diversa incidenza della radiazione solare su tale porzione del paramento murario esterno.

Le immagini termografiche sono state acquisite con la tecnologia FLIR MSX (Multi-Spectral Dynamic Imaging) che migliora notevolmente la chiarezza delle immagini termiche con l'aggiunta di dettagli visivi sui termogrammi.

Per rendere l'indagine termografica più completa occorre programmare delle scansioni termografiche di lunga durata, con acquisizioni effettuate con frequenza di 15-30 minuti anche durante il periodo notturno, in modo da identificare i momenti di massima trasmissione termica della muratura e poter valutare dal punto di vista quantitativo l'evoluzione delle temperature nel tempo.

Acquisizione termografica 1					
Data	Ora	Postazione	Obiettivo	T [°C]	UR [%]
07/08/2019	11:06	1	10 mm; 42°	25,8 °C	63,5%



Acquisizione termografica 1.1					
Data	Ora	Postazione	Obiettivo	T [°C]	UR [%]
07/08/2019	10:11	1	10 mm; 42°	26	65



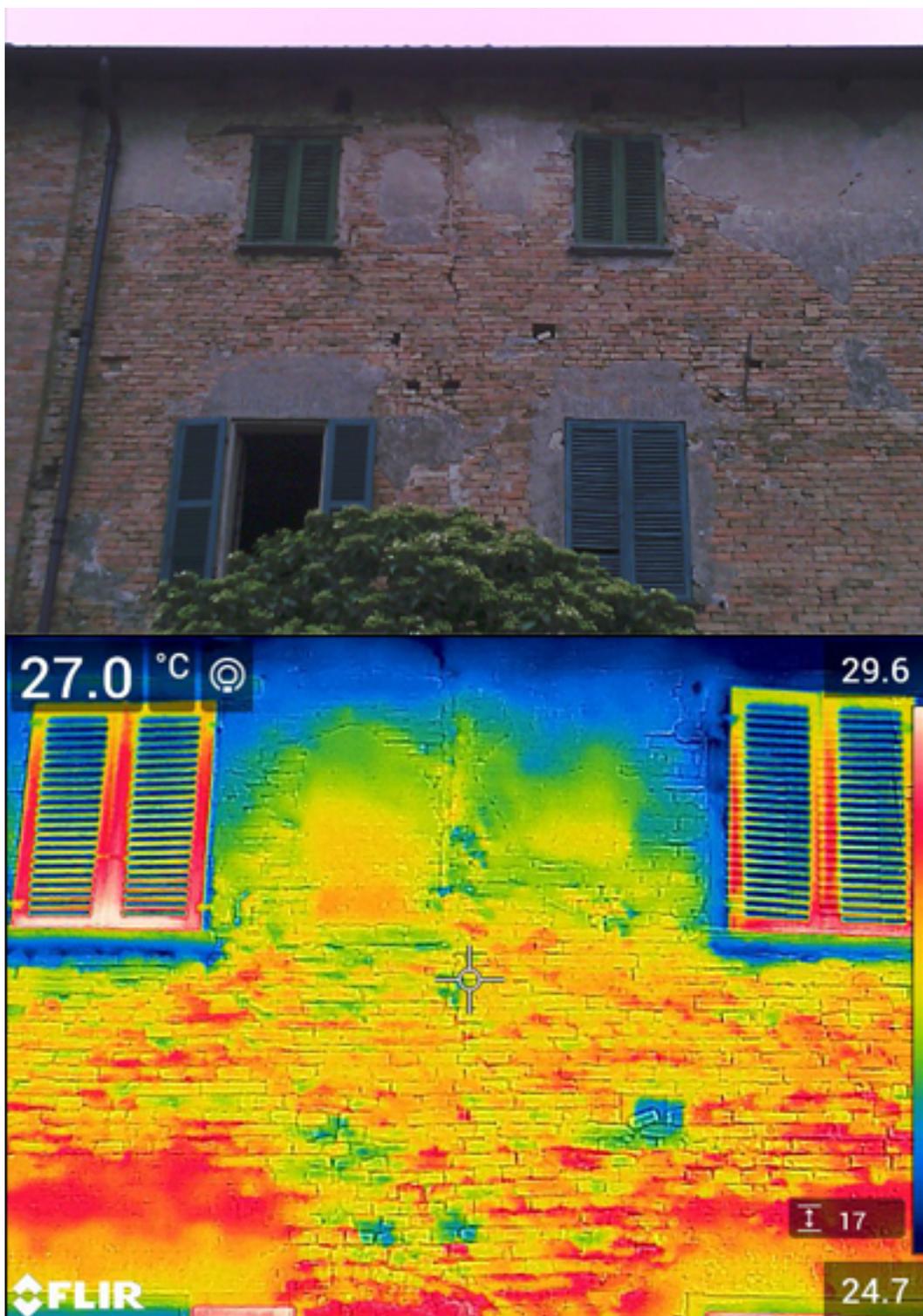
Acquisizione termografica 2					
Data	Ora	Postazione	Obiettivo	T [°C]	UR [%]
07/08/2019	11:22	2	10 mm; 42°	26	65



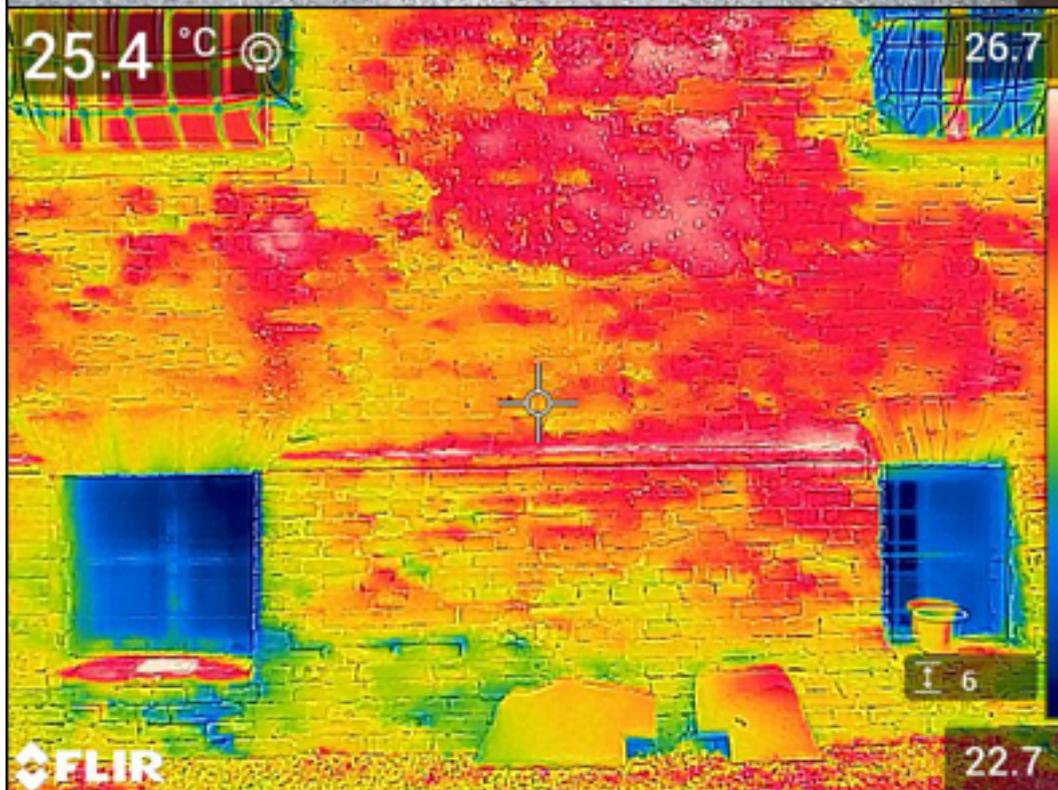
Acquisizione termografica 2.1					
Data	Ora	Postazione	Obiettivo	T [°C]	UR [%]
07/08/2019	11:32	2	10 mm; 42°	26	65



Acquisizione termografica 3					
Data	Ora	Postazione	Obiettivo	T [°C]	UR [%]
07/08/2019	11:40	3	29 mm; 14°	26	65



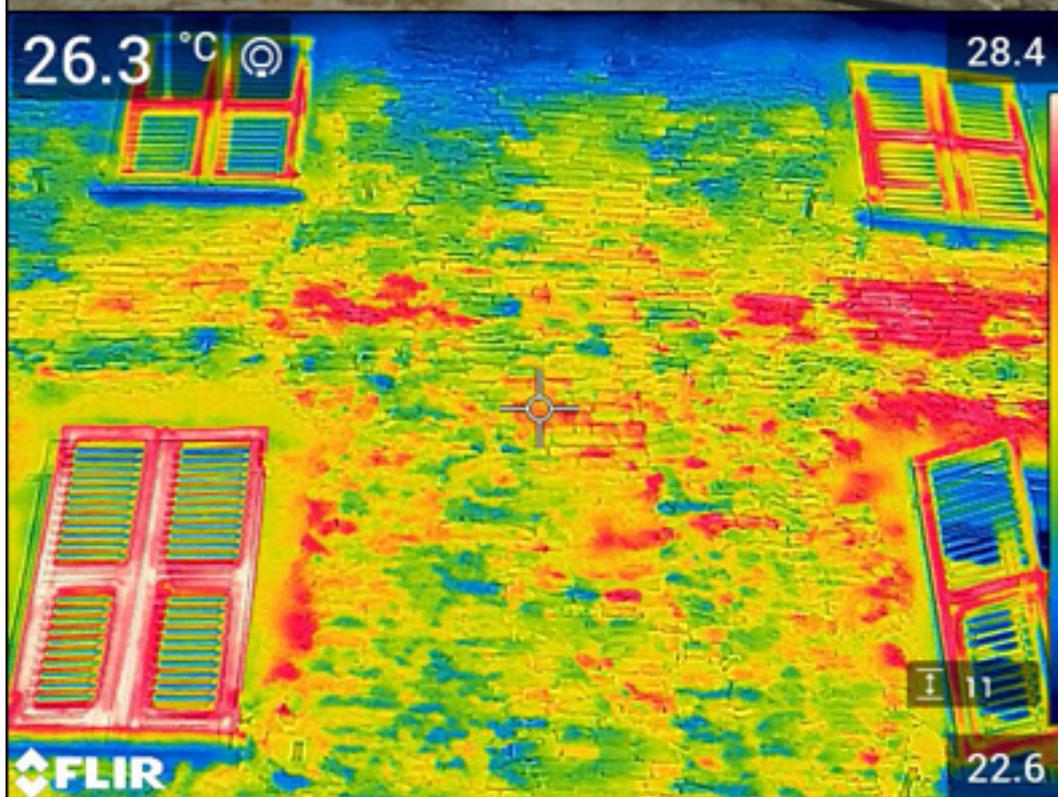
Acquisizione termografica 4					
Data	Ora	Postazione	Obiettivo	T [°C]	UR [%]
07/08/2019	11:46	4	10 mm; 42°	24,6	70



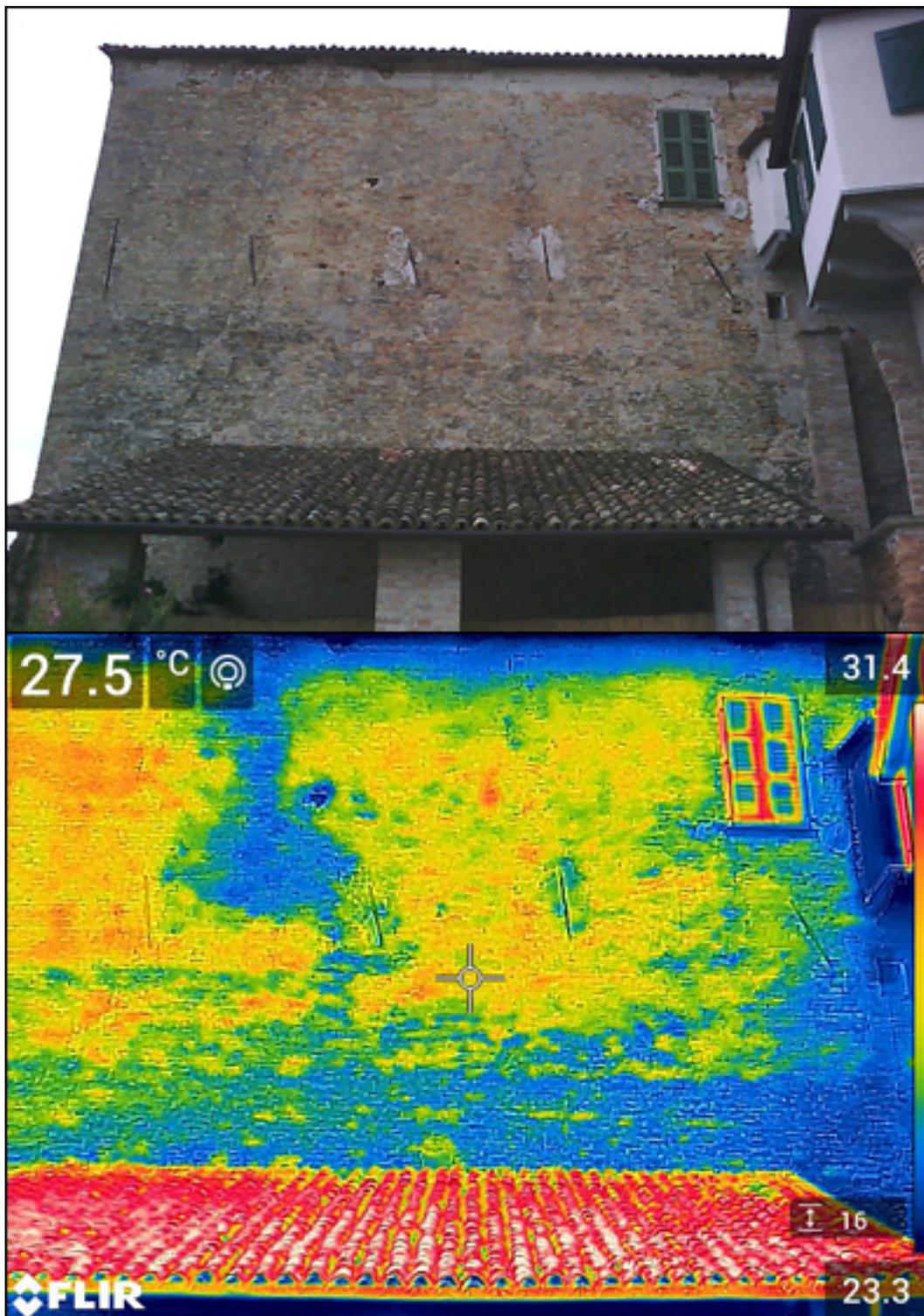
Acquisizione termografica 5					
Data	Ora	Postazione	Obiettivo	T [°C]	UR [%]
07/08/2019	11:55	5	10 mm; 42°	25,6	68



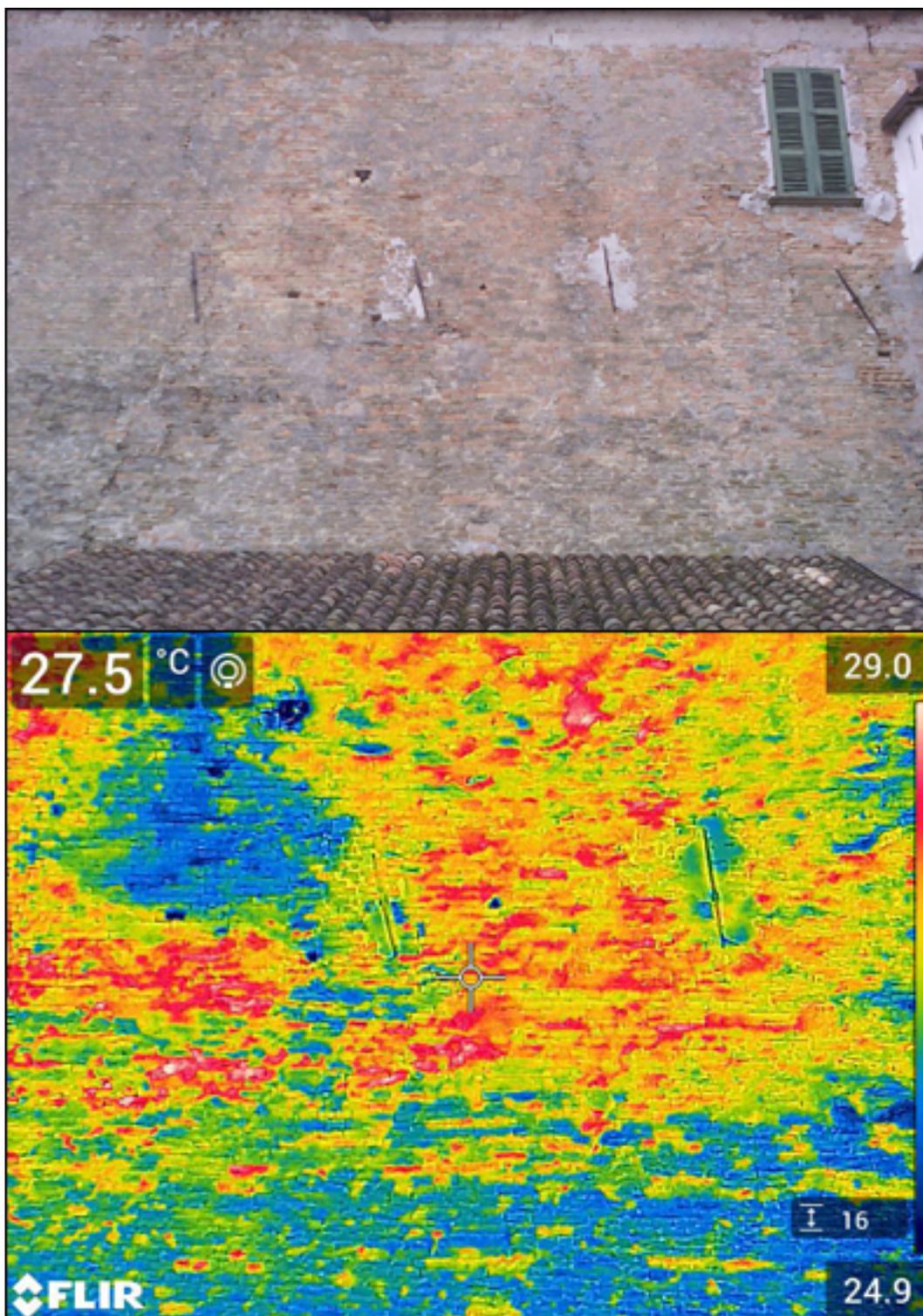
Acquisizione termografica 5.1					
Data	Ora	Postazione	Obiettivo	T [°C]	UR [%]
07/08/2019	12:09	5	17 mm; 24°	25,6	68



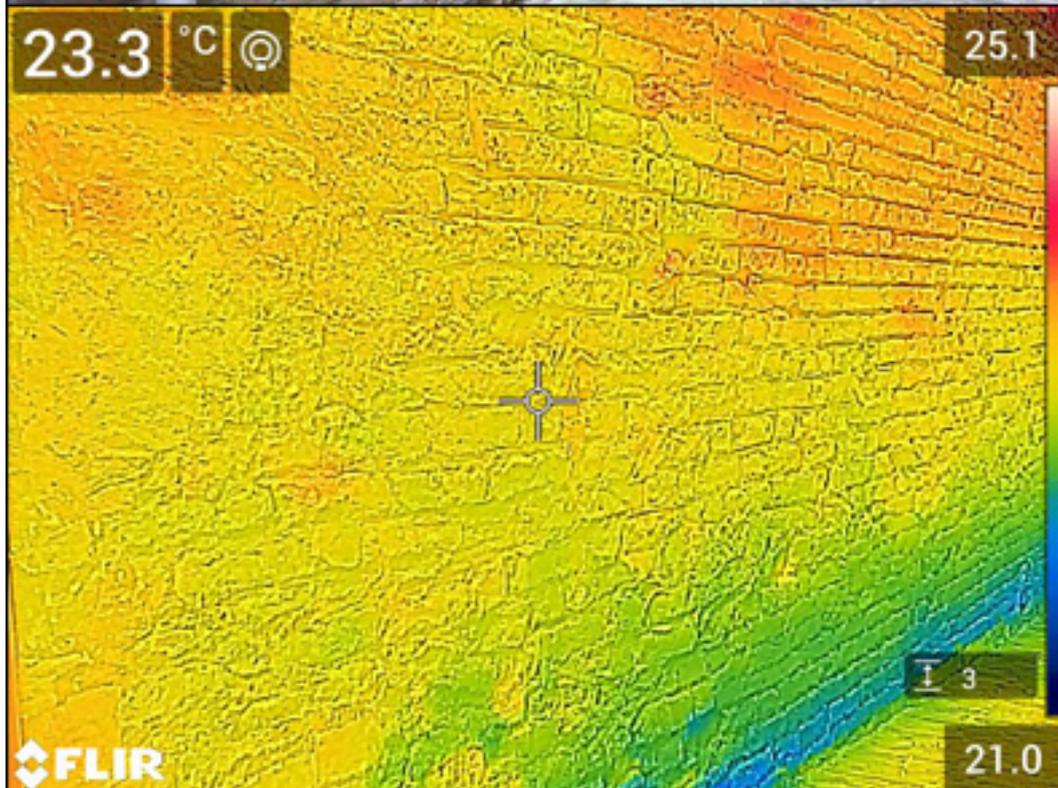
Acquisizione termografica 6					
Data	Ora	Postazione	Obiettivo	T [°C]	UR [%]
07/08/2019	12:15	6	10 mm; 42°	24,6	69



Acquisizione termografica 6.1					
Data	Ora	Postazione	Obiettivo	T [°C]	UR [%]
07/08/2019	12:35	6	17 mm; 24°	26,5	64



Acquisizione termografica 7					
Data	Ora	Postazione	Obiettivo	T [°C]	UR [%]
07/08/2019	12:47	7	10 mm; 42°	24,8	70



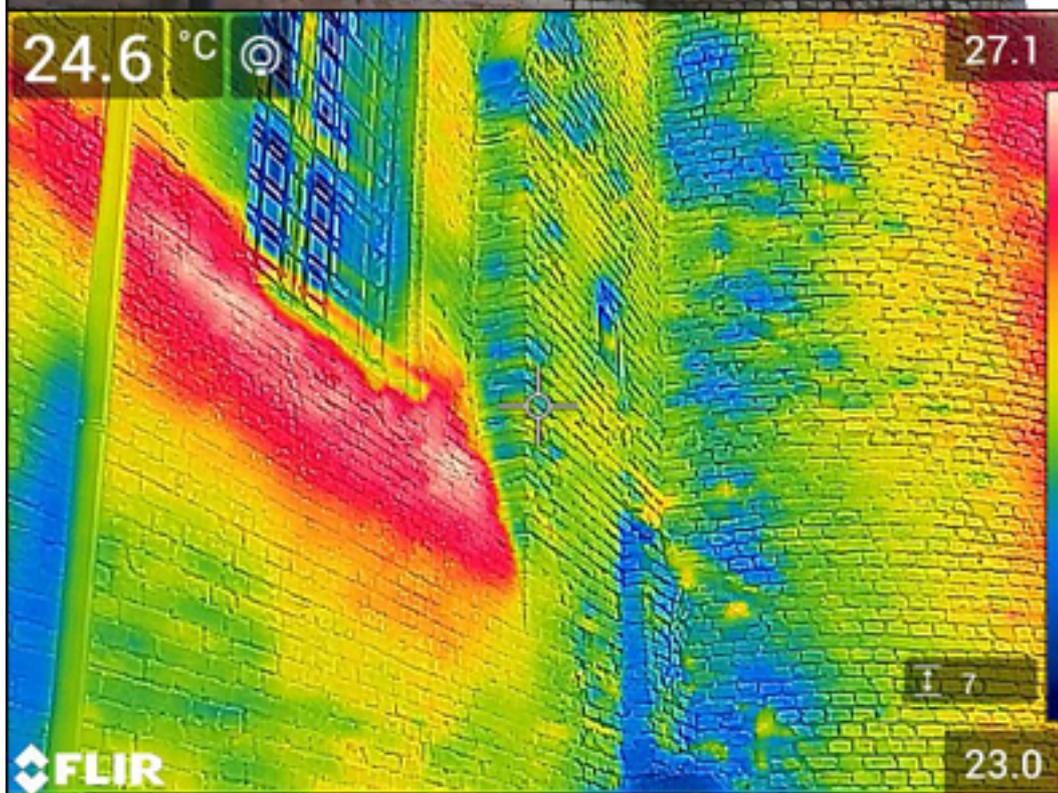
Acquisizione termografica 8					
Data	Ora	Postazione	Obiettivo	T [°C]	UR [%]
07/08/2019	12:55	8	10 mm; 42°	24,8	70



Acquisizione termografica 9					
Data	Ora	Postazione	Obiettivo	T [°C]	UR [%]
07/08/2019	12:59	9	10 mm; 42°	24,8	70



Acquisizione termografica 9.1					
Data	Ora	Postazione	Obiettivo	T [°C]	UR [%]
07/08/2019	12:47	9	10 mm; 42°	24,8	70



6.4 Endoscopia e videoendoscopia

Le indagini endoscopiche e videoendoscopiche sono considerate delle prove di diagnostica non distruttive invasive, seppure in maniera lieve, in quanto richiedono l'esecuzione di un foro del diametro generalmente compreso tra 10 ÷ 20 mm per consentire l'inserimento della sonda endoscopica all'interno dell'oggetto da analizzare. L'origine dell'endoscopia è da attribuirsi al campo medico.

Le indagini endoscopiche e videoendoscopiche permettono di osservare direttamente la morfologia, tipologia e stato di conservazione dei materiali, delle strutture portanti e portate dei solai piani in maniera puntuale, attraverso fori di piccolo diametro.⁴⁶

La strumentazione utilizzabile per tali indagini si divide in tre tipologie:

- boroscopio, formato da un tubo rigido con un oculare posto su un'estremità e una lente che funge da obiettivo sull'altro lato, collegati da un sistema ottico-trasmittente installato all'interno del tubo;
- fibroscopio, endoscopio flessibile costituito da un fascio centrale di fibre ottiche che trasmettono l'immagine da un'estremità all'altra dello strumento;
- videoendoscopio, strumento composto da un apparecchio che include il monitor e la componentistica elettronica, al quale è possibile collegare diverse tipologie di sonde e ottiche con lunghezza focale differente. Il sensore collocato sull'estremità della sonda invia segnali al processore via cavo, restituiti sul monitor, dopo una fase di elaborazione, sotto forma di immagini.

Il videoendoscopio permette di scattare immagini o di registrare video all'interno del manufatto oggetto di indagine, in modo da estrapolare i fotogrammi più significativi in fase di analisi dei dati raccolti. Apparecchi di ultima generazione dispongono di controller wireless per facilitare la gestione dello svolgimento delle indagini.

⁴⁶ (Astrua & Nelva, 2016)

6.4.1 Indagine sull'intradosso della volta del salone

La videoendoscopia è stata scelta come metodologia di indagine per determinare la tipologia di materiali impiegati e la morfologia della struttura portante costituente la volta che separa il salone dai locali soprastanti.

Per lo svolgimento dell'indagine è stato utilizzato un videoendoscopio del produttore FLIR, modello VS70, dotato di ottiche con lunghezze focali differenti e di una luce a led installata sull'estremità della sonda.



Figura 101. Video-endoscopio FLIR VS70. (flir.it)

L'intradosso della volta oggetto di indagine presenta un'altezza compresa tra 5,90 ÷ 6,30 metri e ha reso necessario il preventivo montaggio di un trabattello in tubi e giunti, necessario per l'esecuzione dei rilievi videoendoscopici in quota e in condizioni di sicurezza.

L'esecuzione delle videoendoscopie non ha necessitato della realizzazione di fori per permettere il passaggio della sonda dello strumento all'interno della struttura. L'utilizzo delle fessure presenti nello strato di rivestimento dell'intradosso della volta ha evitato un ulteriore danneggiamento degli stucchi, che presentano fessure e fenomeni di distacco dal supporto in più porzioni.

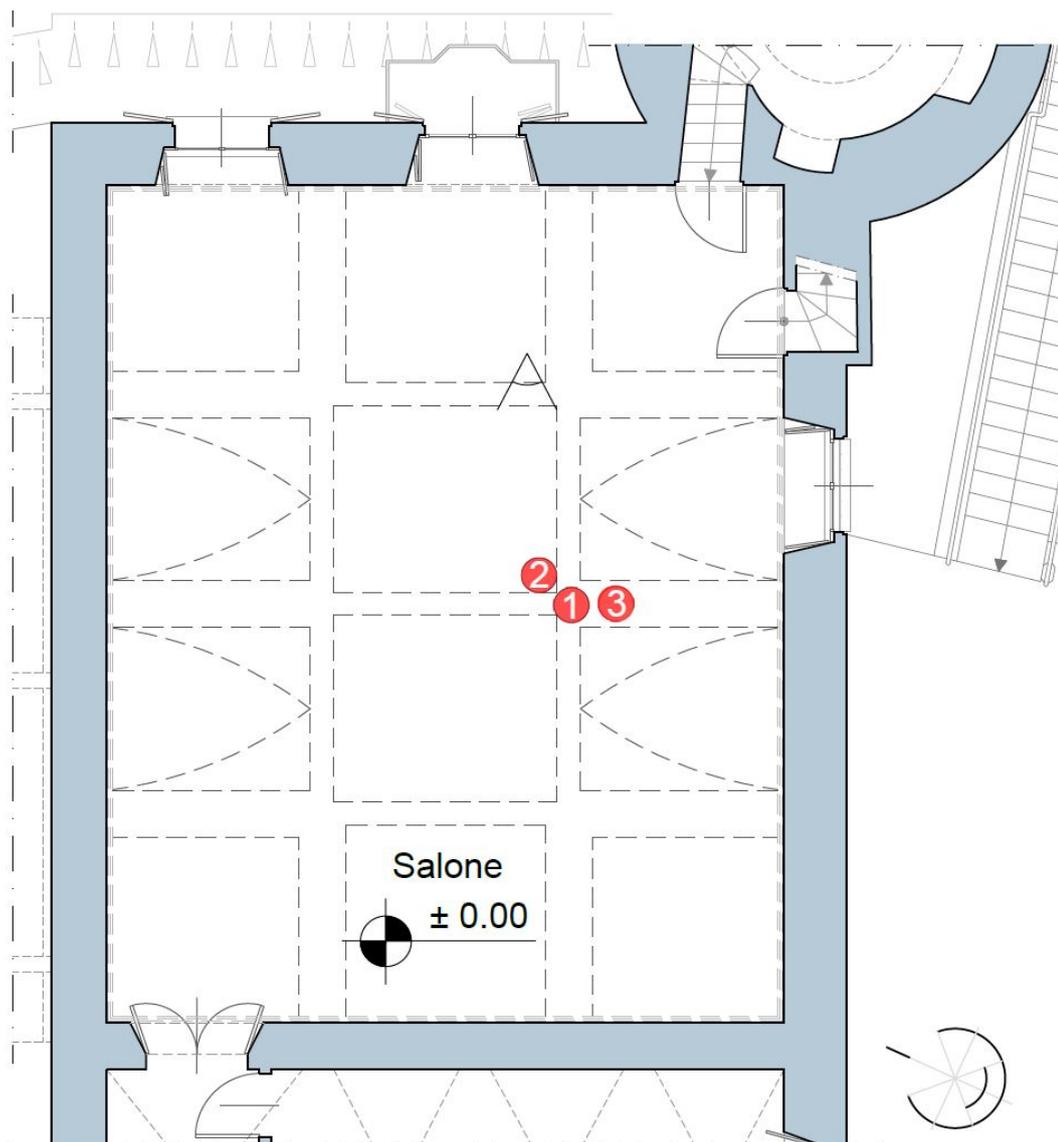


Figura 102. Pianta salone piano terra con indicazione dei punti di indagine.

I tre punti di indagine sono stati scelti con l'intenzione di identificare i materiali e le tecniche costruttive impiegate per la realizzazione della volta.

Il posizionamento del trabattelo, di tipo fisso, è stato definito in funzione della struttura della volta ipotizzata durante la fase di rilievo del castello, con la prospettiva di effettuare videoendoscopie su:

- travi in legno;
- voltini, realizzati in cannicciato o muratura;
- arco in muratura.

La fotografia seguente identifica la posizione del trabattello e riporta la collocazione dei punti di indagine videoendoscopica sull'intradosso della volta del salone posto al piano terra del castello di Calosso.

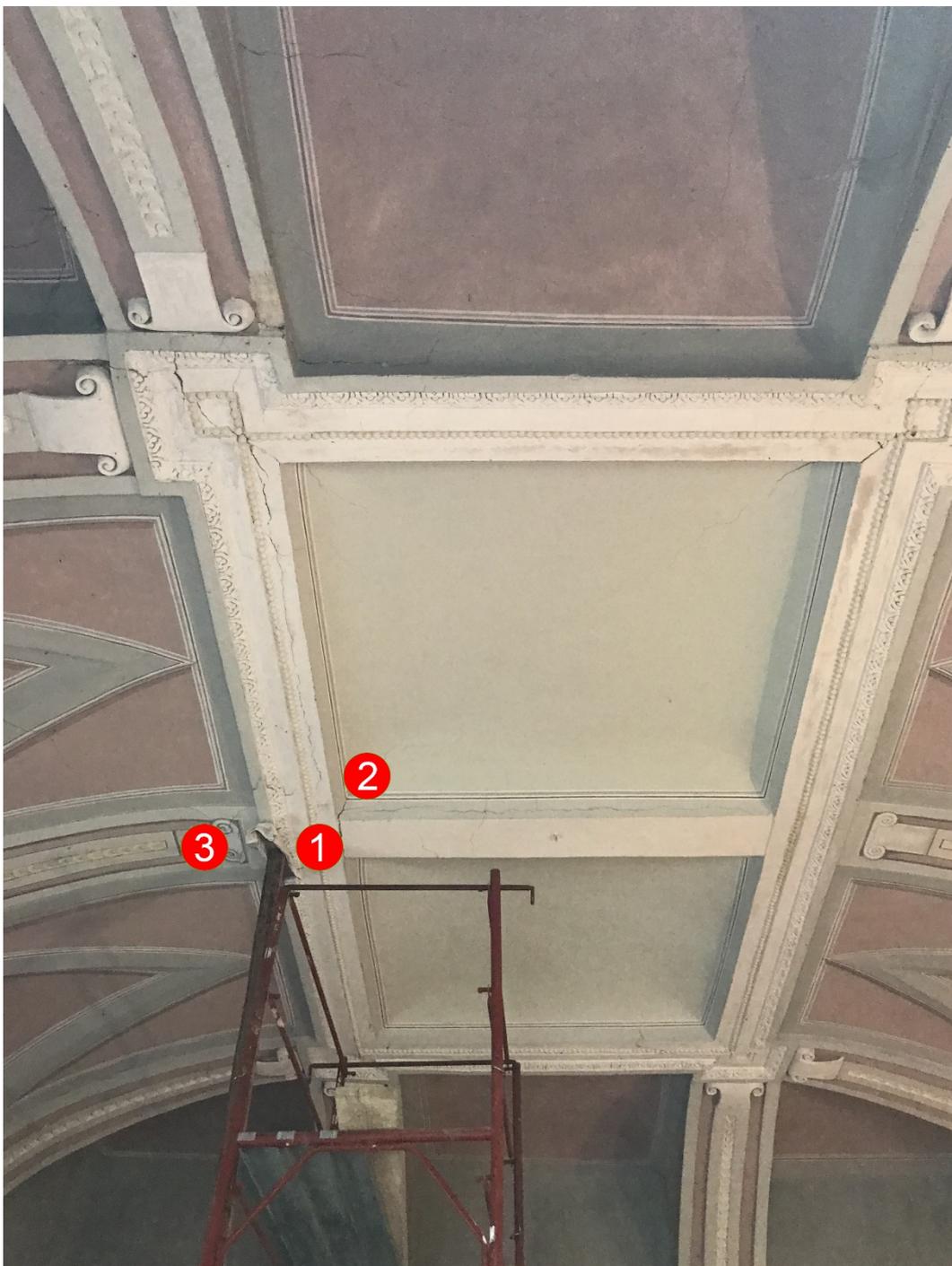


Figura 103. Vista sulla collocazione dei punti di indagine.

La figura seguente riporta tre immagini scattate durante l'esecuzione delle prove videoendoscopiche, una per ciascuno dei punti scelti.



Figura 104. Svolgimento delle indagini videoendoscopiche.

Le immagini acquisite con il videoendoscopio hanno consentito solo in parte la verifica dei materiali utilizzati per la realizzazione della volta, ipotizzati in fase di rilievo degli ambienti interni del castello. In particolare, non è risultato possibile acquisire fotogrammi che permettano una conferma visiva dei materiali utilizzati per la realizzazione del voltino in cannicciato, (punto di indagine 2) e dell'arco in muratura (punto di indagine 3).

Il seguente fotogramma, seppure in maniera poco chiara, rappresenta una trave lignea, risultato dell'indagine videoendoscopica effettuata nel punto 1 inserendo la sonda all'interno della fessura presente.



Figura 105. Trave lignea visibile dal punto di indagine 1.

6.4.2 Indagine sull'estradosso della volta del salone

Dati i risultati non soddisfacenti delle indagini effettuate sull'intradosso della volta del salone, è stato deciso di svolgere un'ulteriore videoendoscopia sull'estradosso della volta, con l'obiettivo di identificare i materiali utilizzati per la realizzazione dei voltini.

Nelle figure 106 e 107 è indicata la zona dell'estradosso della volta interessata dalla videoendoscopia, scelta in corrispondenza di uno dei voltini in mattoni che si sviluppano tra gli archi in muratura della partizione interna orizzontale a volta.

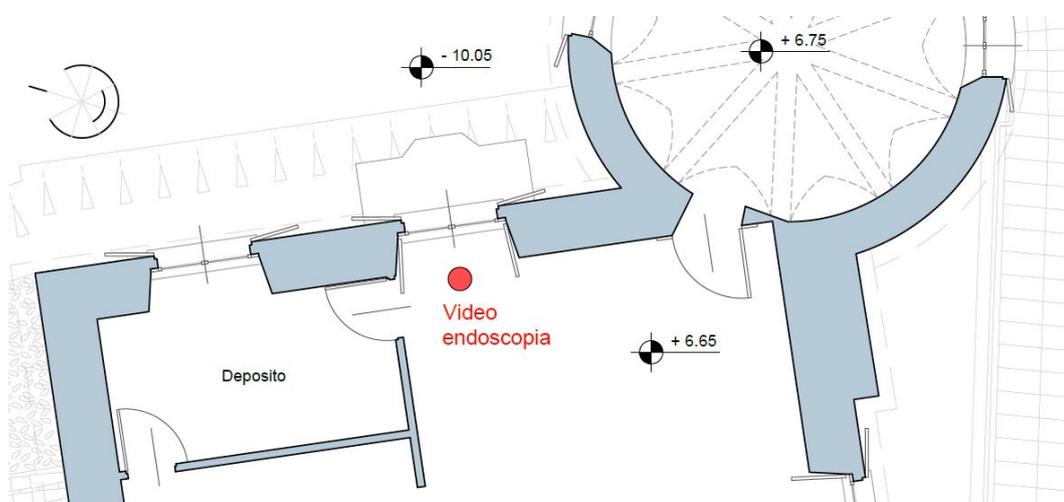


Figura 106. Indicazione in pianta del punto di indagine videoendoscopica.

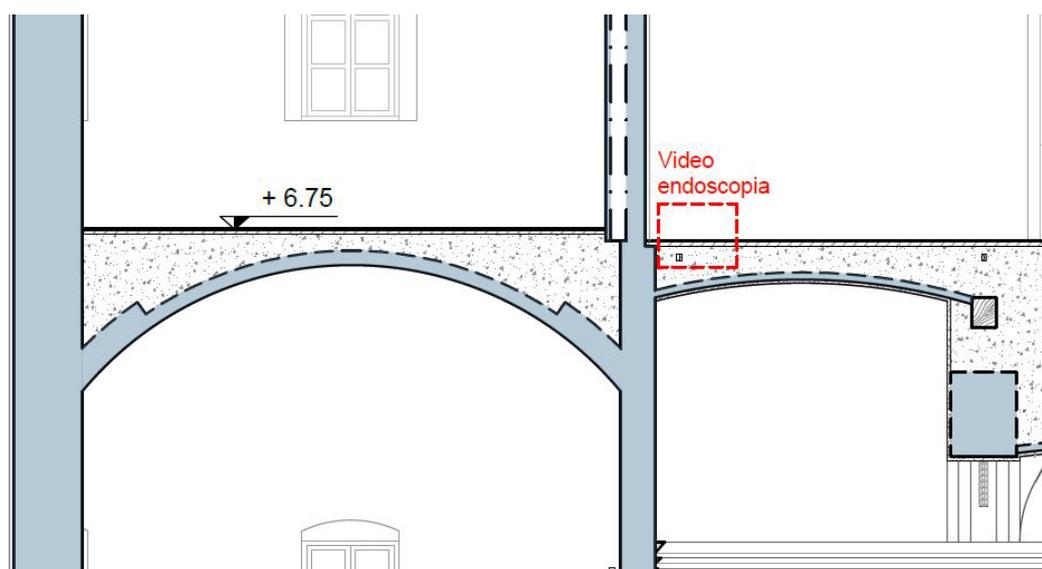


Figura 107. Indicazione sullo stralcio di sezione del castello della zona di indagine videoendoscopica.

La rimozione di una porzione di pavimentazione, limitata ad una mattonella deteriorata, ha mostrato la scarsa consistenza del sottofondo della pavimentazione e ha consentito l'inserimento della sonda del videoendoscopio. Dalla visualizzazione delle immagini trasmesse in tempo reale sul monitor è emersa la presenza di un elemento metallico, visibile nella seguente figura, che ha suggerito la necessità di ulteriori indagini.

A testimonianza dell'evidente deterioramento del sottofondo della zona analizzata, è stato possibile spingere la sonda fino a raggiungere una buca pontaiata.



Figura 108. Ritrovamento catena metallica e vista su buca pontaiata.



Figura 109. Fase di rimozione mattonelle per indagare sul sottofondo e la catena metallica.

La rimozione di ulteriori mattonelle in cotto, autorizzata dai proprietari del castello, ha consentito un'analisi visiva di due catene metalliche, giuntate con due cunei, visibili nella figura seguente. Dopo aver rimosso parte della sporcizia è stata misurata la larghezza e l'altezza delle catene.



Figura 110. Catena metallica con indicazioni della larghezza e dell'altezza.

Conclusioni

Il lavoro di tesi è risultato propedeutico per l'approfondimento delle nozioni e conoscenze sulle metodologie di diagnostica non distruttiva, invasiva e non invasiva, applicando i principi teorici direttamente sul fabbricato oggetto di studio: il castello di Calosso.

L'indagine conoscitiva sullo stato di conservazione di un manufatto rappresenta una fase preliminare della progettazione di un intervento di recupero e può essere supportata dalle indagini diagnostiche. Tali indagini consentono una definizione dello stato di fatto, delle caratteristiche e tipologie dei materiali e delle tecniche costruttive impiegate per la realizzazione del fabbricato in modo più dettagliato rispetto ai dati e alle informazioni che possono essere raccolti durante una fase di osservazione diretta.

I sopralluoghi svolti presso il castello hanno permesso di sottolineare l'importanza della fase di osservazione diretta, fondamentale sia durante le operazioni di rilievo plano-altimetrico, sia per la pianificazione delle tipologie e metodologie di indagini diagnostiche da svolgere sul manufatto in funzione degli obiettivi e delle specificità del caso.

La prima visita degli ambienti interni del castello ha focalizzato il mio interesse e curiosità nei confronti del salone sito al piano terra, caratterizzato da un orizzontamento a volta risalente al Settecento che ha rappresentato il punto di partenza per la pianificazione delle indagini diagnostiche.

Le indagini videoendoscopiche svolte sull'intradosso e sull'estradosso della volta sono risultate utili per fornire un'ipotesi plausibile sulla struttura e sui materiali utilizzati per la realizzazione dell'orizzontamento, rappresentando il punto di partenza per un'analisi e un approfondimento della conoscenza strutturale della volta.

Per poter analizzare in maniera completa la struttura dell'orizzontamento occorrerebbe rimuovere una porzione considerevole di pavimentazione, massetto di sottofondo e materiale di riempimento dall'estradosso della volta.

Un'ulteriore soluzione, meno invasiva, potrebbe essere rappresentata da un'esecuzione di una termografia all'infrarosso di tipo attivo, puntando la termocamera sull'intradosso della volta in modo da valutare l'energia emessa dai corpi sotto forma di radiazione elettromagnetica infrarossa.

Le indagini videoendoscopiche, termografiche e di determinazione del contenuto d'acqua nelle murature con il metodo al carburo di calcio hanno restituito dei risultati e dei dati utili per una più completa definizione dello stato di fatto del castello e possono costituire la base per un'ulteriore campagna di indagini diagnostiche con finalità di approfondimento dello stato di conservazione dei materiali e determinazione delle sollecitazioni agenti sulle murature.

Ulteriori sviluppi del lavoro di tesi potrebbero focalizzarsi sul monitoraggio delle condizioni microclimatiche all'interno dei locali più interessati da fenomeni di degrado e sulla pianificazione ed esecuzione di indagini utili in fase di redazione di un modello strutturale del castello, quali: prove soniche e ultrasoniche, martinetti piatti, determinazione di tensioni di trazione delle catene metalliche, ecc.

Bibliografia

Bordone, R. (s.d.). *Andar per castelli. Da Asti tutto intorno.*

Rosso, R. (2000) *Castelli del Piemonte. Le province di Asti e Alessandria.*

Valente, T., & Bracco, S. (s.d.). *Castelli e ville forti nella Provincia di Asti a nord della Valle del Tanaro.*

Archivio di stato, Asti.

ANDIL. (1975). *Annuario dell'industria dei laterizi e compendio di tecnica applicativa.* Roma.

Docci, M., & Maestri, D. (2009). *Manuale di rilevamento architettonico e urbano.* Bari: Laterza.

Piscitelli, M. *Laboratorio di Disegno e Rilievo dell'Architettura.*

Scarzella, P., & Zerbinatti M. (2009). *Recupero e conservazione dell'edilizia storica.* Alinea.

Astrua, F., & Nelva, R. (2016). *Manuale del recupero edilizio.* Maggioli.

Blasi, C. (1999). *Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione postsismica degli edifici.* DEI.

UNI 11121:2004

UNI 11182:2006.

Sitografia

calosso.italiavirtualtour.it.

comune.calosso.at.it.

earth.google.

2017_04_Ratotti.pdf.

arwmisure.com.

aup.it.

ba.infn.it.

bibar.unisi.it.

federica.unina.it.

flir.it.

francescoguerrini.it.

home.teletu.it.

ilducabianco.it.

it.wikipedia.org.

IT-CCM.

didatticamongiello.wordpress.com

muriumidi.info.

stc-meters.com.

treccani.it.

Allegati

Tavola 01 *Planimetria catastale – planimetria generale – rilievo fasi storiche –
rilievo filologico-congetturale*

Tavola 02 *Torre: pianta P -2 – castello: piano interrato*

Tavola 03 *Castello: piano terra*

Tavola 04 *Castello: piano primo*

Tavola 05 *Castello: piano secondo*

Tavola 06 *Castello: pianta copertura*

Tavola 07 *Sezione A-A' – salone castello: pianta quotata – salone castello:
sezioni B-B' – C-C' – D-D'*