

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

DIPARTIMENTO DI ARCHITETTURA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA EDILE/ARCHITETTURA

TESI DI LAUREA

in

Architettura Tecnica II

**LA VULNERABILITÀ SISMICA DEGLI AGGREGATI EDILIZI DEL CENTRO STORICO DI PERGOLA (PU):
IL CASO DI STUDIO DEGLI AGGREGATI TRA VIA CAVOUR E VIA GIANNINI**

CANDIDATA

Valentina Spadoni

RELATORE

Chiar.mo Prof. Giovanni Mochi

CORRELATORI

Chiar.mo Prof. Riccardo Gulli

Prof.ssa Giorgia Predari

Anno Accademico 2013/2014

Sessione III

Alla mia famiglia

Indice

1. Introduzione	1	3.3.4. Ipotesi di evoluzione cronologica.....	59
2. La città di Pergola	2	4. Vulnerabilità e cinematismi di collasso	61
2.1. Quadro geografico ed ambientale	2	4.1. Vulnerabilità.....	61
2.2. Quadro storico ed economico	4	4.1.1. Cenni sulle caratteristiche delle strutture in muratura.....	61
2.2.1. La vicenda storica di Pergola	4	4.1.2. Sopraelevazioni.....	62
2.2.2. Aspetti politici ed economici nel passato di Pergola.....	11	4.1.3. Rifusione di prospetti.....	62
2.2.3. Vicenda sismica.....	14	4.1.4. Mancanza di ammorsamenti.....	62
2.3. Quadro urbanistico.....	18	4.1.5. Coperture rigide	63
2.3.1. Descrizione delle mappe e dei documenti consultati	18	4.1.6. Coperture spingenti.....	63
2.3.2. Insediamenti urbani e tipologie edilizie medievali	24	4.1.7. Vulnerabilità a taglio	64
2.3.3. Forma Urbis di Pergola	26	4.1.8. Edifici in c.a. addossati ad edifici in muratura	64
2.4. Quadro tipologico e costruttivo	40	4.1.9. Vulnerabilità tipiche di edificio chiesastico	64
2.4.1. Caratteristiche tipologiche.....	40	4.2. Cinematismi di collasso	65
2.4.2. Caratteristiche costruttive.....	47	4.3. Individuazione delle vulnerabilità e dei meccanismi di collasso negli aggregati oggetto di studio.....	67
3. Aggregati oggetto di studio.....	53	4.3.1. Aggregato A2.....	67
3.1. Localizzazione degli aggregati	53	4.3.2. Aggregato A3	68
3.2. Stato di fatto degli aggregati	53	5. Valutazione della vulnerabilità sismica: metodo analitico	70
3.2.1. Aggregato A2	54	5.1. Indici di vulnerabilità	70
3.2.2. Aggregato A3	55	5.1.1. Indice di disconnessione muraria (DM)	70
3.3. Processo evolutivo degli aggregati oggetto di studio	56	5.1.2. Indice di ribaltamento delle facciate (RF)	71
3.3.1. Contributo delle mappe storiche e dei documenti.....	56	5.1.3. Indice di ribaltamento del timpano (RT).....	71
3.3.2. Analisi metrologica.....	57	5.1.4. Indice di lesione da falsi puntoni (LP).....	72
3.3.3. Disconnessioni in facciata	57	5.1.5. Indice di vulnerabilità a taglio (VT).....	72
		5.1.6. Indice di martellamento da solai sfalsati (MSS).....	73

5.1.7. Indice di martellamento da edifici in cemento armato (MCA)	73
5.1.8. Indice di vulnerabilità da muri in falso (MF)	74
5.2. Indice globale analitico di vulnerabilità sismica	74
5.2.1. Analisi senza il contributo della vulnerabilità da muri in falso(V_{GA})	75
5.2.2. Analisi con il contributo della vulnerabilità da muri in falso(V_{GA2})	77
6. Valutazione della vulnerabilità sismica: metodo speditivo	81
6.1. Indici di vulnerabilità	81
6.1.1. Stima della trasformazione in pianta (TP_S)	81
6.1.2. Stima della trasformazione in alzata (TA_S)	82
6.2. Indice globale speditivo di vulnerabilità sismica	82
6.2.1. Analisi senza il contributo della vulnerabilità da muri in falso(V_{GS})	82
6.2.2. Analisi con il contributo della vulnerabilità da muri in falso(V_{GS2})	84
7. Indici globali di vulnerabilità sismica a confronto	85
7.1. Indici a confronto nel contesto pergolese	85
7.1.1. Confronto dei risultati ottenuti considerando il contributo della vulnerabilità da muri in falso	85
7.1.2. Confronto dei risultati ottenuti non considerando il contributo della vulnerabilità da muri in falso	86
7.2. Il problema della qualità muraria nel confronto con altri casi di studio	87
7.2.1. Contributo della qualità muraria nel <i>metodo Beta-NTC</i> ($IQM_{Beta-NTC}$)	89
7.2.2. Contributo della qualità muraria nel <i>metodo IQM</i> (IQM)	92
Conclusioni	100
Allegati	102
Tavole grafiche	

1 Introduzione

Lo scopo del lavoro proposto vuole essere la valutazione della vulnerabilità degli aggregati edilizi storici, al fine di stilare una classifica che individui le emergenze maggiori in un determinato contesto e che sia valido aiuto ai professionisti del settore, per indirizzare gli interventi di prevenzione e messa in sicurezza laddove il rischio di danneggiamento verso persone e cose si presenti con maggiore intensità.

Quando si parla di prevenzione di edifici che sono stati realizzati secondo un progetto unitario, come le moderne strutture in calcestruzzo armato e in acciaio, la verifica strutturale avviene tramite l'analisi e il confronto delle sollecitazioni con quelle ammissibili.

Con questo approccio, però, si tralasciano informazioni sulla fabbrica dell'edificio, che risultano inutili, appunto, quando si ha a che vedere con edifici concepiti con un'unica struttura continua, ma che assumono un'importanza cruciale nell'analisi delle vulnerabilità associate al patrimonio edilizio storico, dove, spesso, non si può neanche parlare di singoli edifici, ma bisogna riferirsi ad interi aggregati edilizi.

L'edilizia dei centri storici italiani, infatti, è frutto di molteplici modifiche avvenute nel corso dei secoli. Basti pensare a come città di origine romana, nelle quali ancora oggi sono individuabili l'assetto viario e le tipologie edilizie di base della tradizione costruttiva, abbiano subito trasformazioni volte all'adattamento alle nuove esigenze, per esempio in epoca medievale e successivamente nel Rinascimento.

Per questo motivo non è pensabile associare la vulnerabilità dell'edilizia storica a funzioni derivanti dalla legge continua dell'intensità sismica, altrimenti si perverrebbe ad interventi che stravolgerebbero le caratteristiche tipologiche e costruttive che, invece, dovrebbero essere sempre valorizzate.

Ecco allora che lo studio del processo evolutivo dei centri storici diventa uno strumento irrinunciabile per comprendere le fasi di sviluppo dei singoli aggregati. Tale metodo parte dall'analisi delle motivazioni storiche, culturali ed economiche che hanno portato alla fondazione della città, passando per l'analisi della sismicità del luogo, per concentrarsi, poi,

sulla comprensione delle regole di comportamento nel processo di formazione e crescita dei tipi edilizi e sulle tecniche costruttive.

Tenendo presente lo studio condotto sul tessuto urbano, ci si può successivamente approcciare all'analisi dell'aggregato edilizio storico avendo una visione completa del contesto in cui si è sviluppato. Questo, unitamente all'acquisizione del materiale grafico, ottenuto per fonti dirette ed indirette, permette di ricostruire il processo evolutivo dell'aggregato e di conseguenza individuare le carenze strutturali e i più pericolosi cinematismi di danno associati.

Con il lavoro proposto, in conformità alla normativa vigente che, nella definizione della vulnerabilità sismica, impone lo studio simultaneo di tutte le unità strutturali che compongono un aggregato edilizio storico, si propone l'adozione di un metodo scientifico schematizzabile nelle seguenti fasi:

- analisi storica/urbanistica del centro storico;
- analisi tipologica e costruttiva dell'edilizia del centro storico;
- ricerca e reperimento dei documenti e delle informazioni, derivanti da fonti dirette ed indirette, relativi agli aggregati edilizi oggetto di studio;
- analisi delle carenze strutturali e delle vulnerabilità;
- analisi dei possibili cinematismi di collasso;
- individuazione del valore dell'indice globale di vulnerabilità sismica tramite l'approccio analitico e speditivo;
- confronto con altri casi di studio.

Nel caso specifico si è esaminato il centro storico di Pergola (PU), e il metodo è stato applicato a due aggregati edilizi in particolare.

Nella fase finale di confronto con altri casi di studio si è resa necessaria la valutazione della qualità muraria delle apparecchiature e si è proposto un metodo per tenere conto di questo aspetto nella valutazione della vulnerabilità sismica.

2 La città di Pergola

2.1 Quadro geografico ed ambientale

Pergola, comune dell'entroterra marchigiano in Provincia di Pesaro-Urbino, sorge nel punto in cui confluiscono il fiume Cesano e il fiume Cinisco, dominata a Sud-Ovest dal monte Catria, a 265 m s.l.m. . Il Comune ha un' estensione di 113.46 km² e ospita 6555 abitanti. Nella prima metà del '900 è stato caratterizzato da una particolare crescita demografica fino a raggiungere un picco di 12.686 abitanti; in seguito la popolazione è diminuita sensibilmente a causa della scarsa offerta lavorativa che caratterizza numerosi piccoli borghi marchigiani. Il centro storico di Pergola presenta una forma alquanto sinuosa, circoscritto a Nord dal quartiere "Tarpea" o "Conce", a Est dai quartieri di "San Francesco" e delle "Tinte", a Ovest dal quartiere della "rocca" e a Sud da quelli di "Sant'Agostino" e del "Piano".

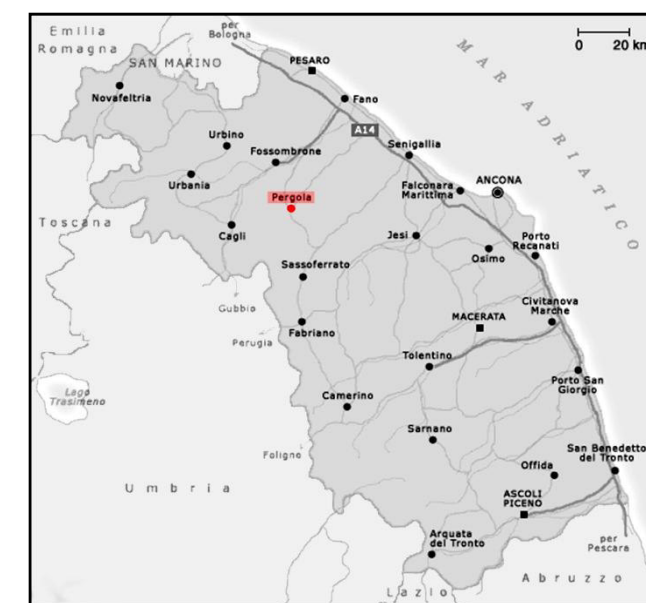
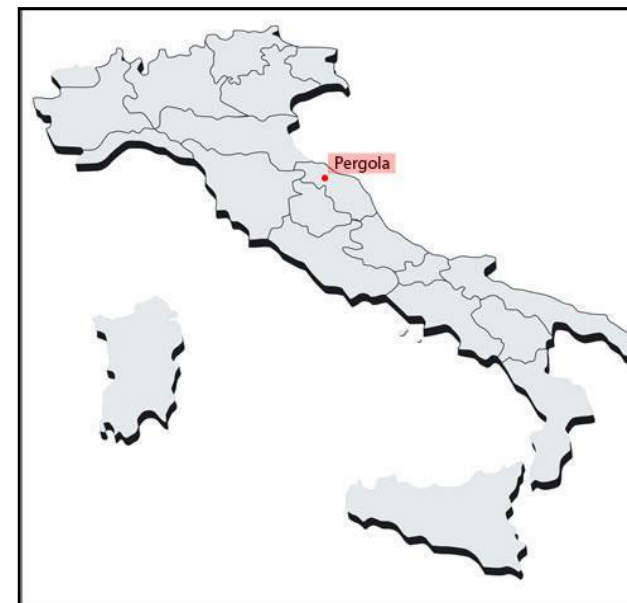
Pergola è stata fondata nel 1234 ad opera del popolo eugubino, legame che è ancora tangibile nella cultura popolare, in primo luogo nel dialetto che ben si differenzia dal comune dialetto marchigiano, assomigliando per lo più ai dialetti umbri.

A livello geologico , nel territorio pergolese troviamo calcari bianchi e rossi di era secondaria, e calcari marnosi di era terziaria, sui quali si trovano depositi di ciottoli e a volte rocce arenarie sempre di era terziaria. Il territorio è altresì ricco di giacimenti di zolfo che lo rende ricco di acque minerali solfuree.

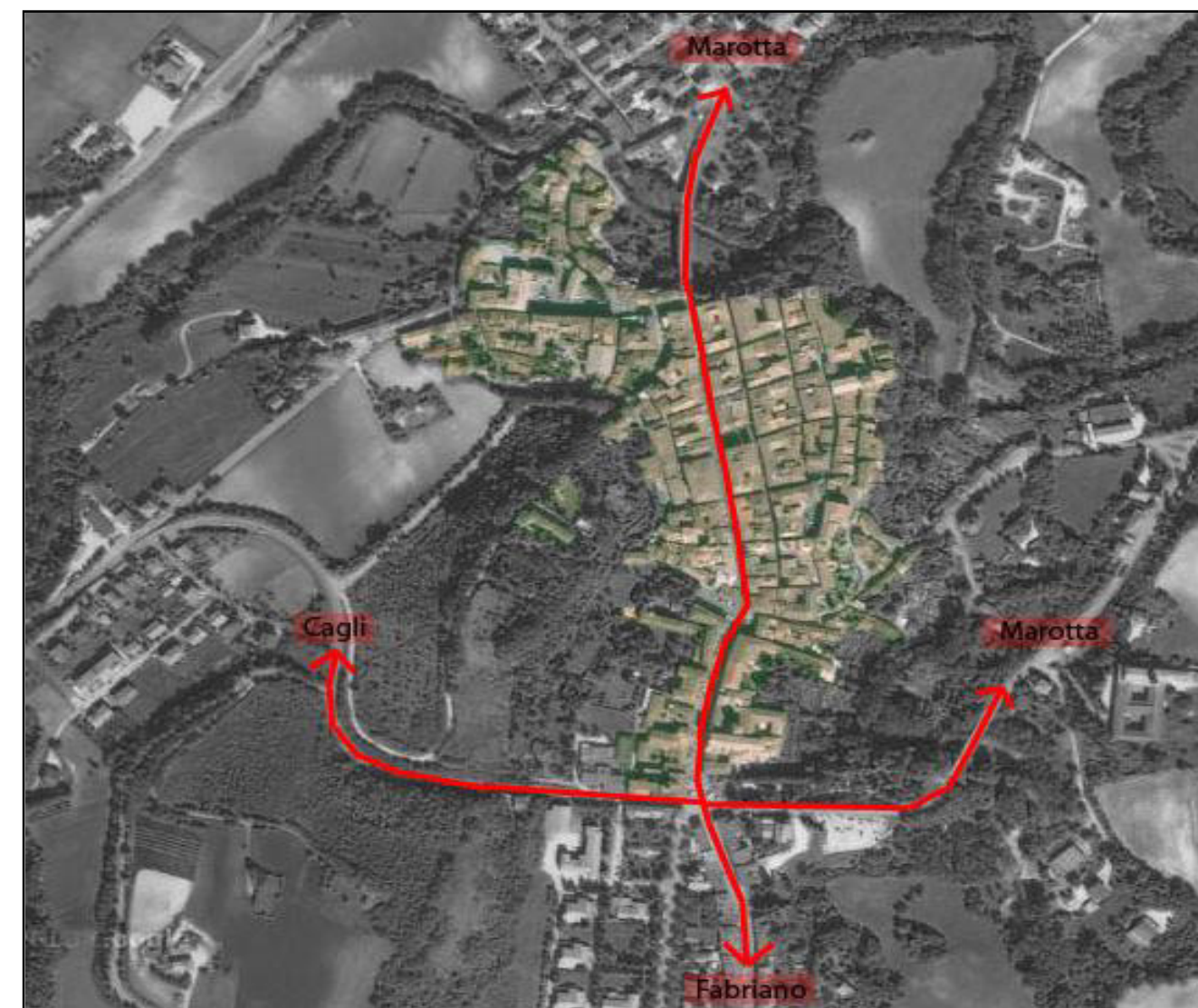
Pergola è classificata in zona sismica 2 e in zona climatica E.



Veduta di Pergola



Localizzazione a scala nazionale e regionale di Pergola



Veduta aerea del centro storico di Pergola

Bibliografia

PONGETTI C. – TENTI M. – PICCININI G. – CECINI N., *Una periferia rivelata Pergola ventesimo secolo*, Pesaro 1992, pp. 13-23.

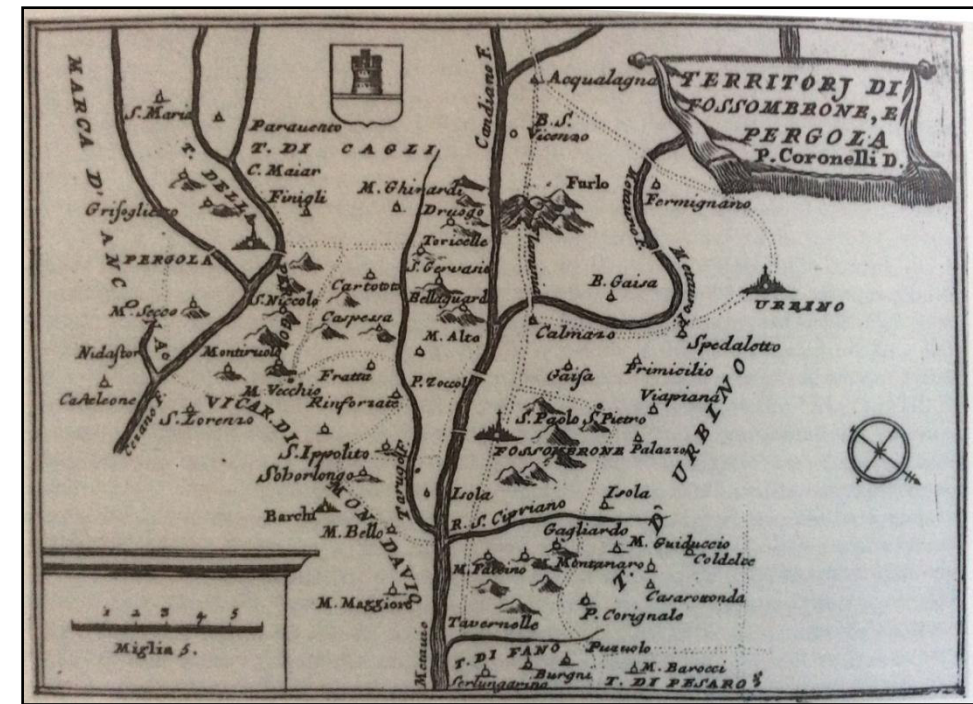
NICOLETTI L., *Di Pergola e dei suoi dintorni*, Pergola 1899, pp. 7-17

2.2 Quadro storico ed economico

2.2.1 La vicenda storica di Pergola

La città di Pergola vanta il pregio di possedere una data ben precisa della sua fondazione ad opera del popolo eugubino: 1234. Nonostante questo la sua origine è circondata da un alone di mistero che ha reso la discussione tra gli storici accesa e controversa. Due su tutti: il Gentili, perfettamente in linea con la teoria, accreditata dai numerosi documenti, che vede sorgere Pergola non prima del 1234, e il Giannini, che volle dimostrare che Pergola non fu fondata ex novo dagli eugubini, ma che fu semplicemente ampliata dal popolo umbro, collocando le sue origini in tempi ben più lontani.

È certo che nella vallata del Cesano e nei dintorni di Pergola, dal XI secolo a.C. si avvicendarono popoli umbri ed etruschi, ma anche i Galli (invasione del 390 a.C.) come testimoniano le anfore figurate rinvenute a Monterolo. Inoltre una necropoli venne portata alla luce durante gli scavi per la costruzione della nuova stazione ferroviaria di Pergola. Per quanto riguarda l'epoca romana invece è certo che un centro abitato nella periferia di Pergola esistesse ma la sua collocazione precisa risulta impossibile. Sergio Sebastianelli, noto storico del posto, riconobbe la città con il nome di "Pertia" e affermò che fu distrutta



Carta del "Territorio di Fossombrone – Pergola" inserita nell'atlante "Teatro delle Guerre" di Vincenzo Coronelli, pubblicato a Roma nel 1708

interamente dai Goti tra il 409 e il 412. Il passaggio dei romani sembra essere accreditato da rinvenimenti di tombe nei pressi di villa Arseni-Matteini alla fine del XIX secolo e dal rinvenimento casuale ad opera di un agricoltore nel 1946 a Cartoceto di Pergola, del gruppo equestre di bronzo dorato dell'età Giulio Claudia, unico esempio esistente di questo tipo.

In seguito alle invasioni barbariche il territorio di Pergola risultò suddiviso in tre parti: la zona sud, prima sotto il dominio di Sentinum (Sassoferrato), era caduta sotto la giurisdizione di Nocera Umbra; la zona nord, un tempo dominata da Pitinum Mergens (Acqualagna), era controllata dal popolo cagliese; e la restante parte del territorio pergolese faceva da anni parte della comunità eugubina.

Di questo periodo si hanno scarse notizie; si può semplicemente dire che il territorio sotto l'assedio bizantino venne utilizzato come distaccamento militare ed amministrativo. Ai bizantini succedettero i longobardi e a loro i Franchi che nella persona del re Pipino donarono nel 754 molte terre del centro Italia al papato che istituì la nascita dello stato pontificio.

Tra il VI e il XIII secolo le comunità monastiche più influenti sul territorio risultavano essere quella benedettina dell'abbazia di S. Silvestro di Nonantola, legata al comune di



Gruppo equestre "Bronzi Dorati di Pergola", Museo dei Bronzi Dorati, Pergola

Serralta, quella appartenente al monastero di S. Severo e di S. Apollinare in Classe di Ravenna e quella dell'Abbazia di Fonte Avellana.

Veniamo dunque al momento più significativo della storia della comunità pergolese, quello della sua fondazione.

Il 15 marzo 1234 Gubbio donò a Serralta¹ alcune delle terre attraversate dal Cesano e dal Cinisco per la costruzione di un nuovo centro urbano a cui verrà dato il nome di "Castum Collis Pergulae". La scelta del luogo fu oculata, in quanto in quella zona si incontrano tre vallate e gli scambi commerciali con Cagli, Gubbio, Sassoferrato, Fossombrone e Senigallia risultavano assai agevolati dalla naturale morfologia del territorio.

Per quanto riguarda il nome non sembrano esserci grandi dubbi; deriverebbe infatti dalla presenza di un pergolato adiacente la chiesa di Santa Maria della Pergola, tutt'ora presente con il nome di Santa Maria di Piazza.

Dall'originale "Castum Collis Pergulae" si passò così in breve tempo e per ovvi motivi al più colloquiale Pergola².

Il 25 giugno 1234 Gubbio stipulò con Serralta i patti per la costruzione della nuova città che doveva diventare il nuovo centro commerciale della valle del cesano. L'affluenza fu subito numerosa e molte famiglie benestanti di Gubbio presero la cittadinanza, tanto che

immediatamente si rese necessaria la cessione di altri territori dai centri urbani circostanti in cambio di favori commerciali.

Il centro urbano era circondato da mura in cui l'accesso e l'uscita erano garantiti da due ingressi che si suppone fossero fortificati. Le mura a loro volta erano protette da un fossato principale e da altri fossati minori, ma soprattutto dalla fortezza che in seguito diventerà la rocca. Il centro si articolava in una serie di casalini (abitazioni civili) disposti a formare numerose piazze destinate a funzioni civili o commerciali

Oltre a Gubbio anche Cagli prese parte alle vicende inerenti la fondazione del Castro; ricordando infatti che il popolo cagliese vantava il dominio su alcuni terreni della periferia pergolese si capisce immediatamente come coloro volessero esercitare i propri diritti sulle suddette terre. Vedendo, però, nella nascita di un nuovo centro urbano una seria minaccia per la sua supremazia commerciale e un asilo per i rifugiati politici, Cagli cambiò immediatamente rotta e decise di opporsi alla fondazione di Pergola. Alleatasi con i comuni di Perugia, Pesaro, Ancona, Fano, Jesi ed Urbino iniziò una lunga controversia con Gubbio affiancato da Assisi, Città di Castello e Rocca Contrada (attuale Arcevia).

Il 10 febbraio 1235 il pontefice Gregorio IX, chiamato in causa per evitare una guerra, con bolla papale diede ragione al popolo eugubino e esortò a proseguire i lavori.

Furono anni di grandi tumulti che videro la guerra tra guelfi e ghibellini sempre più accesa. La città di Gubbio, da sempre schierata dalla parte dell'imperatore, nel 1240 si ribellò alla lunga dominazione ghibellina; ma ben presto l'imperatore Federico si riprese le città ribelli, compresa Pergola che restituì a Gubbio dopo la resa nel 1248. L'astio e la guerra tra guelfi e ghibellini per la supremazia di Gubbio rimasero attivi per i successivi 15 anni, fino a quando, nel 1263, per ragioni comuni ad entrambe le fazioni venne ripristinata la pace. Questo periodo di insicurezza e di conflitti penalizzò molto Pergola che fu costretta a rinunciare ad uno dei diritti fondamentali stipulati nel 1234, quello di poter eleggere autonomamente il proprio podestà.

Nel 1275 Pergola tentò, contro il volere di Gubbio, di eleggere il proprio podestà, ribellandosi alla sua autorità diventata ormai troppo onerosa sia a livello economico che per l'impiego di uomini nelle milizie eugubine.



Disegno raffigurante la chiesa di Santa Maria di Piazza, Leg. Apo., Lettere della Comunità di Pergola, b. 43, Archivio di Stato Pesaro

La città di Pergola: quadro storico ed economico

Il 26 settembre 1285 Pergola fu di nuovo costretta a sottomettersi a Gubbio per non dover cadere sotto la giurisdizione del Rettorato di Spoleto, ancora più esoso a livello fiscale dello stesso Gubbio. Negli anni seguenti però gli eugubini pretesero di imporre la loro autorità troppo duramente, decisi a rendere la ribelle città di Pergola meno influente possibile. In questo frangente i pergolesi decisero di rivolgersi direttamente alla Santa Sede chiedendo che venissero ristabiliti i tre diritti fondamentali del patto del 1234: la nomina del podestà, il diritto di imporre pedaggi e l'esenzione dal mantenimento delle milizie. La battaglia venne persa e Pergola fu costretta a pagare anche le spese di causa.

Un nuovo tentativo di rivolta si registra nel 1343, quando i pergolesi non accettando il podestà inviato da Gubbio decisero di eleggerne di nuovo uno autonomamente, ma anche questo tentativo fallì.

La ribellione fu vincente invece nel 1351; l'anno precedente infatti Gubbio venne presa da Giovanni di Cantuccio Gabrielli e Pergola approfittando del momento di debolezza nominò come podestà Ungaro da Sassoferrato. Nel 1355 però il cardinale Albornoz destituì il Gabrielli e sottomise di nuovo Pergola a Gubbio. La supremazia del popolo eugubino continuò fino al 1379.



Rappresentazione del Ducato di Urbino, tratta dall'edizione in francese dell'Atlas Major pubblicato ad Amsterdam nel 1667

Tra il 1384 e il 1385 Pergola diventò ufficialmente di dominio malatestiano. La signoria dei Malatesti infatti, già nel 1355, si affermò nelle città di Pesaro, Fano e Fossombrone per poi espandere i propri possedimenti verso l'entroterra.

Alla fine del 1384 Galeotto I dispose che il vicariato di Mondavio, già di dominio malatestiano, occupi il prima possibile il territorio pergolese. In seguito alla sua morte (21 gennaio 1385) si diede atto alle sue ultime volontà; egli infatti volle che i territori della signoria fossero divisi equamente tra i suoi quattro figli; a Pandolfo III spettarono, tra gli altri, Fano, Senigallia, Mondavio e Pergola. Il passaggio dal dominio eugubino a quello malatestiano non apportò a Pergola notevoli cambiamenti; il fatto che i Malatesti furono impegnati nelle vicende dello Scisma d'Occidente nel difficile compito di diplomatici internazionali, non gli permise di essere presenti in tutti i propri possedimenti, delegando così la loro gestione a fidati funzionari. Questo permise al piccolo centro marchigiano di mantenere la propria identità amministrativa, nella persona del podestà, direttamente eletto tra i "fideles" del signore. Il Podestà, inoltre, era affiancato da un dottore in legge, un notaio e non meno di quattro famiglie fidate. Nonostante questo, Pergola e i suoi funzionari dovevano sottomettersi periodicamente ai controlli malatestiani.

La lontananza dei Malatesti, chi per ragioni diplomatiche, chi per il governo di nuove signorie, permise a chi vedeva una minaccia nel dominio malatestiano di allearsi. È ciò che accadde a Fermo il 4 marzo 1416 tra i da Varano, i Migliorati, gli Anconetani e Braccio da Montone.

Il 7 luglio 1416, nella battaglia del Colle presso Perugia e Assisi, Braccio da Montone sconfisse Carlo Malatesti e lo fece prigioniero. Accorsero in suo aiuto Pandolfo III e Malatesta I che per la sua liberazione pagarono un riscatto di ben 60.000 ducati. La guerra si riflettè anche su Pergola che, nel settembre del 1418, fu costretta alla resa sotto l'attacco delle milizie inviate da Braccio da Montone, il quale affidò il governo al vicario conte Angelini. Egli ebbe poca fortuna perché, nemmeno un mese più tardi, Pergola tornò sotto il dominio malatestiano.

Dopo la morte di Pandolfo III (1427), Carlo ormai vecchio, non avendo eredi legittimi, ottenne da papa Martino V il riconoscimento dei suoi tre nipoti come eredi dello stato

La città di Pergola: quadro storico ed economico

malatestiano. In cambio la chiesa volle la cessione di numerosi possedimenti, tra i quali Pergola. La città restò sottomessa alla Chiesa per un breve periodo, dal 5 agosto 1430 al 1433, quando venne invasa, per volere dei Visconti, dal condottiero Francesco Sforza. Quest'ultimo in breve tempo conquistò numerosi territori delle Marche tanto da essere nominato nel marzo del 1434, da papa Eugenio IV, marchese della Marca e gonfaloniere della Chiesa. Tale nomina gli verrà revocata con immediata scomunica nel settembre del 1435 a seguito del rinnovato sodalizio dei Visconti con gli Sforza, ancora padroni di Pergola. La Chiesa a quel punto inviò alla riconquista dei territori pergolesi l'ancora fedele Sigismondo Pandolfo Malatesta, signore di Rimini, che occupò e conquistò Pergola, dopo nove giorni di assedio, il 10 aprile 1439.

Nell'agosto del 1445, dopo quindici giorni di assedio in attesa dei soccorsi malatestiani che non giunsero, Pergola cadde preda delle truppe sforzesche che la depreदारono e distrussero la rocca³. I danni alla città furono ingenti ma gran parte delle mura rimasero in piedi, così come il tessuto urbanistico e numerosi edifici resistettero al saccheggio.

L'anno seguente, 1446, approfittando dell'assenza nei territori marchigiani del conte Federico di Montefeltro e dello Sforza, Sigismondo assediò con dodicimila uomini la terra di Pergola, che il 18 luglio si rese.

Dopo numerose stragi ed incendi, nel 1448, si giunse alla pace tra il conte Federico e Sigismondo Malatesta, il quale però fu solito venire meno ai patti d'alleanza stipulati con i Montefeltro. Non potendo più sopportare, il conte Federico l'infedeltà di Sigismondo, d'accordo con Jacopo Piccinino, comandante delle truppe del re di Napoli, nell'autunno del 1457, invase i territori malatestiani. Alla fine del 1458 furono circa trenta i castelli sottratti al dominio malatestiano; oltre questi per ristabilire la pace Sigismondo fu costretto nel 1459 a concedere ai due condottieri più di centoquindici tra terre e castelli, fra cui rientrava anche Pergola.

La fine di Sigismondo fu segnata dagli avvenimenti degli anni successivi. Egli infatti riuscì, nel 1462, a conquistare Senigallia ma fu costretto immediatamente a fuggire verso Fano dal sopraggiungere delle milizie dei Montefeltro che lo raggiunsero presso la foce del fiume Cesano. Sigismondo insieme a pochi fedeli riuscì a salvarsi rifugiandosi nella rocca

di Mondolfo. Praticamente ai Malatesta rimasero Fano, San Costanzo e Mondolfo, città che dovettero cedere nel 1463, sempre in favore del duca di Urbino, decretando così la fine del dominio marchigiano di Sigismondo.

Per i successi conseguiti da Federico, papa Pio II concesse allo stesso il vicariato di Pergola, divenuta importante crocevia commerciale tra il litorale adriatico e l'appennino. Federico da Montefeltro, divenuto duca di Urbino il 23 marzo 1474, ridiede a Pergola il fasto perduto, facendo ricostruire le mura e la rocca, distrutti negli anni precedenti. Alla morte di Federico, avvenuta per malattia nel 1482, successe alla guida della casa feltrina Guidobaldo I. Per venti anni Pergola conobbe la pace e la crescita economica e sociale; ma nel 1502 i Montefeltro vennero scossi da una nuova burrasca suscitata da Cesare Borgia, detto il Valentino. Egli infatti il 21 giugno assalì e cacciò dallo stato il duca Guidobaldo, che fu costretto a rifugiarsi a Mantova passando per Ravenna. Il mese seguente il Valentino, con l'aiuto di Francesco Orsini, duca di Gravina, e Oliverotto da Fermo, conquistò il ducato di Camerino. Giulio Cesare da Varano, signore della città, con tre dei suoi quattro figli, fu condotto prigioniero il 25 Agosto alla rocca di Pergola.

Nell'ottobre dello stesso anno Michelotto, comandante dei Borgia, accordatosi con il castellano della rocca, assalì e saccheggiò le terre di Pergola, trovando prigioniero nella rocca il Varani che venne violentemente ucciso insieme ai suoi figli. Si narra ancora oggi che chi di notte si avventura per le vie della rocca possa sentire i lamenti di tali atrocità.

Nel frattempo Guidobaldo si occupò di riconquistare le terre perdute: il 15 ottobre prese Colmazzo, il 25 Fossombrone e il 27 ottenne la resa della rocca di Pergola che fu demolita il successivo 9 novembre.

Il Borgia, non datosi per vinto, fece occupare Senigallia, alla fine di dicembre, cacciandone Giovanna di Montefeltro, madre di Francesco Maria della Rovere, e nell'estate del 1503 serrò d'assedio San Leo. La notizia della morte del padre, papa Alessandro VI, avvenuta nell'agosto dello stesso anno, ridiede grande speranza al ducato di Urbino che subito si riprese Senigallia e tutte le terre conquistate dai Borgia.

La città di Pergola: quadro storico ed economico

Il duca Guidobaldo passò ad altra vita nell'aprile 1508 e con lui si estinse la antica famiglia dei Montefeltro. Gli fu successore Francesco Maria della Rovere, suo nipote e figlio adottivo.

Una nuova sciagura dovettero subire Pergola e tutti gli stati di Urbino nel 1517. Il nuovo papa Leone X decise di cacciare Francesco Maria della Rovere per sostituirlo, al comando del ducato, con suo nipote Lorenzo de' Medici. Dopo questa piccola parentesi medicea, con la morte di Leone X, nel 1521 Pergola tornò ad essere dominata dalla signoria Della Rovere.

Il 23 settembre 1523 succedette a Leone X, papa Clemente IV (Giulio de' Medici), nemico dei Della Rovere. La dinastia, però, scampò alle molestie del nuovo pontefice grazie al fatto che la Chiesa fu impegnata in quegli anni nella difesa della repubblica di Venezia e in altre guerre.

Alla morte di Clemente IV, Giulia Varani, signora del ducato di Camerino, sposò Guidobaldo II, figlio di Francesco Maria. Ma il nuovo papa, Paolo III, non riconobbe il matrimonio e concesse Camerino a suo figlio Pier Luigi.

Da queste premesse si intuisce come Pergola, posta ai confini della signoria Della Rovere, verso Camerino, si trovasse in una posizione assai scomoda nell'eventualità di una guerra tra Francesco Maria e la Chiesa.

Sventata la possibilità di un conflitto grazie all'intervento della repubblica di Venezia, alla morte di Francesco Maria, succedette suo figlio Guidobaldo.

Egli fu subito vittima dell'aggressivo attacco della Chiesa; questa, infatti, decisa a conquistare Camerino inviò le proprie milizie nei territori della signoria e Guidobaldo, per evitare una guerra che gli avrebbe portato solo la perdita del non ancora suo ducato di Urbino, fu costretto a cedere volontariamente Camerino.

Nel 1547 Giulia Varano morì e Guidobaldo II si risposò con Vittoria Farnese dalla quale ebbe l'erede Francesco Maria II.

Guidobaldo II si dimostrò uno dei signori peggiori del ducato e la sua natura superba si riversò anche su Pergola. Il Consiglio Generale e la Magistratura, che sotto Francesco Maria erano sempre stati democratici e avevano ospitato tutte le classi sociali, nel 1540

vennero messe in mano esclusiva dei nobili, andando ad incentivare il divario economico tra i ceti e la corruzione nei luoghi di potere. Egli inoltre eliminò il privilegio dell'esenzione dei pedaggi per il commercio del grano e aumentò le gabelle⁴ ordinarie e i contributi destinati ai lavori del palazzo ducale e al lusso di cui per nulla si privava il duca.

Il 28 settembre 1574 morì Guidobaldo al quale successe, il già nominato Francesco Maria II che si distinse da subito eliminando le inutili gabelle imposte dal padre e ripristinando i privilegi di cui si erano visti privati i pergolesi, instaurando, così, un clima di fiducia e rispetto che mancava ormai da tempo nel ducato.

Il duca infatti per sincerarsi delle loro condizioni, si recava periodicamente a Pergola e nelle altre terre della signoria. Alla morte della moglie Lucrezia d'Este, tanta fu la stima del popolo nei confronti del signore, da scongiurarlo di riprendere moglie per offrirgli un erede, con la speranza che potesse seguire le orme del padre. Francesco Maria, così, sposò Livia della Rovere con la quale concepì Federico Ubaldo. Il ragazzo crebbe nel fasto e nel



Ignazio Danti, *Pianta di Pergola*, XVI secolo, Musei Vaticani, Galleria delle carte geografiche

La città di Pergola: quadro storico ed economico

vizio e la stima riposta dal popolo in Francesco nei primi anni di potere, cessò quando egli passò la signoria a suo figlio, ancora sedicenne.

Poco dopo, il 29 giugno 1623, Federico Ubaldo fu trovato morto nel suo letto, molti dissero ucciso, e Francesco Maria riprese la direzione dello Stato che cedette immediatamente ad un consiglio di otto cittadini.

Urbano VIII, temendo che il ducato potesse passare ai Medici, essendosi già fidanzato Ferdinando de' Medici con Vittoria, figlia del defunto Federico Ubaldo, esortò e importunò tanto Francesco Maria che egli fu costretto a dichiarare che dopo la sua dipartita tutti i territori della signoria passassero sotto il dominio della chiesa.

Oltre ai già citati vantaggi portati da Francesco Maria II, altre opere vennero promosse a Pergola: nel 1585 venne costruita una nuova strada per Senigallia, nel 1597 vennero riedificate le mura (distrutte tra il 1502 e il 1517) e la torre pubblica. Egli inoltre si interessò allo sviluppo delle industrie, quelle già esistenti e quella nascente della seta.

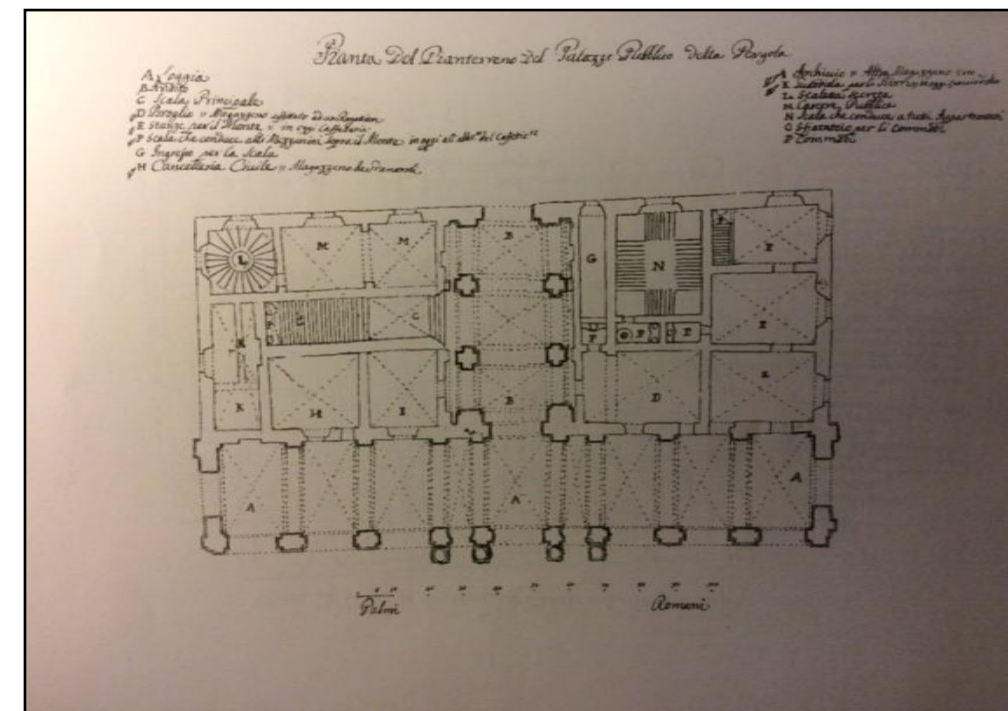
Morto Francesco Maria II il 28 aprile 1631 il ducato d'Urbino passò al diretto dominio della Santa Sede.

Inizialmente Pergola si vide togliere tutti i privilegi di cui aveva goduto sotto la dominazione roveresca; privilegi che furono però ristabiliti nel 1633 da papa Urbano VIII, sia per sventare una possibile rivolta dei cittadini sia perché vide in Pergola un potenziale economico non indifferente. Il centro urbano, infatti, nonostante la persistente crisi che vide lo Stato Pontificio impegnato per tutto il corso del XVII secolo, avvertì meno duramente il fenomeno della recessione. Le industrie di base, pannilana, lavorazione tessile e conce di pelli resistettero bene alla crisi, tanto che nel 1667 papa Alessandro VIII emanò un editto che impediva l'introduzione di pannilana esteri in tutto lo Stato Pontificio.

Inoltre con l'elezione, ai primi del '700, di papa Clemente XI, l'urbinate Giovanni Francesco Albani, Pergola credette di poter accrescere ancor più le proprie ricchezze, ma il nuovo pontefice si dimostrò non curante delle proprie terre d'origine dal punto di vista del commercio. Meno non curanza invece dimostrò nel infliggere ai pergolesi ingenti tasse ordinarie e straordinarie, dal pagamento delle quali, per ovvi motivi, il clero era esentato.

Questo portò alla decadenza delle industrie cittadine, e i terremoti del 1703, del 15 dicembre 1717 e del 24 aprile 1741, non agevolavano una possibile ricrescita. Anche altri eventi storici non furono favorevoli a Pergola: fu infatti prima invasa dalle truppe spagnole impegnate nella guerra di successione nel 1742, poi da quelle austriache nella lotta per il trono, che misero a nudo l'inefficienza dello Stato nella difesa dei propri territori. Si trovò così la cittadinanza, oltre a dover contribuire sempre alle gabelle, anche a sopperire ai bisogni di ogni genere delle truppe che occupavano la regione.

Rimasta Pergola, comunque, meno gravata dalla situazione rispetto ad altri centri urbani dello Stato, ebbe la forza lamentare le proprie mancanze alla Santa Sede. Una delle concessioni del Pontefice, allora Benedetto XIV, fu quella del Consiglio di Credenza⁵. I cittadini però puntavano alla massima riconoscenza: l'elezione di Pergola a città. La situazione era favorevole in quanto Pergola vantava un numero di abitanti spesso maggiore rispetto ad altri centri che godevano già del titolo di città e inoltre si distingueva per famiglie illustri e personaggi di rilievo fuori e dentro la curia. Non di meno aveva anche intrapreso la costruzione del nuovo palazzo comunale e del teatro, edifici indispensabili per una città del '700.



Pianta piano terra del Palazzo Pubblico di Pergola, Leg. Apo., Lettere della Comunità di Pergola, b. 21, Archivio di Stato Pesaro

La città di Pergola: quadro storico ed economico

Il 18 maggio 1752 lo stesso Benedetto XIV su consiglio e pressione del cardinale Nicola Antonelli, originario pergolese, elevò Pergola al rango di città. Grazie a questa nuova identità la città ottenne anche una certa autonomia a livello religioso con l'istituzione della concattedra con la diocesi di Gubbio e un Vicario Generale in loco con funzioni episcopali. Come già detto, nonostante la crisi che investì tutto lo Stato Pontificio, Pergola riuscì a mantenere attive le fabbriche principali. A partire dal 1773 si ebbe un nuovo rilancio economico con il potenziamento dell'opificio dei Minori Osservanti.

Il benessere però era riservato più che altro al ceto nobile che con arroganza si riteneva amministratore della città, mentre quello cittadino, che di fatto sosteneva l'economia del paese, era destinato ad una crescente povertà. Le calamità naturali non agevolavano la situazione, come i terremoti. Il più disastroso si tenne il 3 giugno 1781 in occasione del quale Pergola registrò molti danni materiali.

Nel 1795 venne istituita la zecca cittadina, lasciata in concessione al nobile Francesco Guazzugli; essa coniò monete di rame e di mistura, conosciute come "Sampietrini". La zecca fu chiusa il 1799.

Alla fine del XVIII secolo un nuovo evento storico influì sulla vicenda di Pergola: l'invasione delle truppe francesi. In questa occasione si videro d'accordo, nel considerare i francesi un popolo invasore, tutti i ceti della città, dai nobili e il clero che non intendevano lasciare abbandonare i propri privilegi, al ceto medio fino ai contadini che non avevano mai visto di buon occhio qualsiasi tipo di cambiamento. Nonostante questo però lo spirito di adattamento e di sopravvivenza, che più di altre nello Stato, contraddistingueva Pergola, la portò, in occasione della visita di Napoleone a Pesaro, ad inviare una delegazione in rappresentanza per giurare fedeltà al nuovo padrone.

La dominazione francese si dimostrò alquanto distruttiva; è vero da una parte che il popolo poté riappropriarsi dei beni che gli erano stati confiscati a favore del clero, ma è altrettanto vero che i cittadini vennero tassati a dismisura e vennero privati della propria cultura con le spoliazioni di oro, argento ed opere d'arte.

Dopo il congresso di Vienna dal 1815 si ristabilì il potere pontificio.

Nonostante le proteste dei cittadini, Pergola fu di nuovo annessa al distretto di Gubbio, soggetto alla legislazione di Pesaro, e la divisione tra i ceti sociali tornò più evidente di sempre.

Nel 1826 venne eletto papa Gregorio XVI, che fu monaco a Fonte Avellana e protettore di Pergola fino alla sua elezione. Egli ebbe da subito particolari riguardi, e per il monastero e per la città, tanto che per cura del Gonfaloniere Giovanni Ginevri Blasi nel 1841 permise e finanziò la realizzazione della facciata esterna della cattedrale. Rinaldo Rinaldi, scultore dell'epoca, come ringraziamento, scolpì un busto in marmo raffigurante papa Gregorio XVI che venne collocato proprio al centro della predetta facciata. La città sotto il suo pontificato conobbe la conferma delle quattro chiese parrocchiali e dei due monasteri già presenti e la fondazione dell'ospedale, dell'orfanotrofio femminile, del monte di pietà, del seminario e della biblioteca pubblica.

Nonostante il periodo di silenziosa tranquillità, iniziò a consolidarsi sempre più vivamente, tra i cittadini pergolesi, l'idea di un possibile paese unito sotto il nome di Italia. Le prime rivolte contro l'autorità pontificia si registrarono nel febbraio del 1831, quando venne istituito un Comitato di Governo che aderì al Consiglio centrale di Bologna. Pergola si distinse nel fermento risorgimentale e in breve tempo divenne leader dell'insurrezione in tutta la valle dominata dal fiume Cesano, tanto che in tanti vennero in visita alla sezione pergolese della "Giovane Italia"; tra gli altri passò a Pergola il Franceschi, segretario di Giuseppe Mazzini.

Negli anni successivi Pergola si schierò con le truppe piemontesi, inviando un gruppo di patrioti verso la piana Padana, e nel 1848 si costituì nella città il circolo democratico che servì a coordinare più efficacemente le manovre insurrezionali.

Le idee nazionaliste erano ormai molto radicate, anche nei ceti non intellettuali e nel giugno 1859 si tentò di abbattere definitivamente la dominazione pontificia. Lo sforzo fallì e i patrioti furono costretti all'esilio. Per lo più si diressero a Rimini.

In questo frangente, tre figure pergolesi furono determinanti: Ascanio Ginevri Blasi che, anch'egli fuggito in quel di Rimini, divenne presidente della nascente Commissione di Emigrazione nel 1860; Giovanni Battista Jonni che mantenne contatti diretti con il primo

ministro conte di Cavour; e Giuseppe Fulvi che organizzò a Pergola e nella vallata le truppe che avrebbero partecipato alla rivolta.

L'8 settembre 1860 si diede inizio, proprio a Pergola, al moto di rivoluzione che portò finalmente le Marche ad essere libere dalla dominazione pontificia. Il mese seguente la città, con votazione plebiscitaria, chiese l'annessione al Regno d'Italia.

Come è logico pensare, in questo periodo di rivoluzione e cambiamento l'economia pergolese conobbe una pesante crisi, che portò alla chiusura di quasi tutte le industrie presenti nel territorio aperte nel periodo clericale. La svolta si ebbe alla fine del '800 con l'apertura della nuova rete ferroviaria Fabriano-Pergola-Urbino (1895-1898), che incentivò gli spostamenti lavorativi e il trasporto delle merci, e la scoperta della miniera di zolfo nelle località delle vicine Percozzone e Cabernardi, che diede lavoro a numerosi cittadini pergolesi, fino alla sua chiusura nel 1952.

2.2.2 Aspetti politici ed economici nel passato di Pergola

Per un'analisi esaustiva dell'assetto organizzativo della città di Pergola si rende utile riportare alcune informazioni inerenti all'amministrazione del potere politico ed economico inerenti ai primi secoli di vita del comune di Pergola.

1.2.2.1 Aspetti politici

Fin dal periodo medievale ogni centro urbano, a cui venisse concesso il privilegio di essere riconosciuto come comune, per mantenere efficiente l'organizzazione politico-amministrativa, doveva riconoscersi in un sistema strutturato di regole e normative. Pergola, come gli altri comuni, infatti, fin dal XIV secolo, possedeva un proprio statuto, di cui purtroppo non rimane traccia, se non come riferimento all'interno del successivo statuto redatto nel 1510. In quest'ultimo vennero raccolti tutti gli ordinamenti comunali emessi negli anni precedenti e che purtroppo erano stati persi o distrutti durante l'assedio valentiniano.

In mancanza dello statuto medievale del comune di Pergola, le informazioni necessarie a comprendere gli aspetti politici e organizzativi sono da ricercare nello statuto medievale della città che fondò Pergola: Gubbio. Lo Statuto Vecchio di Gubbio dedica, infatti, al comune di Pergola ben sei rubriche e lo menziona in modo specifico in diciotto casi. Inoltre è da ricordare che tutte le norme che si applicavano alla città di Gubbio erano da considerarsi valide per tutto il territorio sotto la sua giurisdizione.

Dalla lettura del suddetto statuto si evince immediatamente il rapporto di sudditanza del comune pergolese nei confronti della città che aveva voluto la sua fondazione nel 1234; basti pensare che l'ammontare delle tasse riscosse nel territorio pergolese era da devolvere interamente alla comunità eugubina, che avrebbe poi provveduto a ridistribuire il denaro in tutto il suo territorio. Non deve trarre in inganno la presenza a Pergola di un podestà diverso da quello di Gubbio, presente per esercitare quelli che oggi verrebbero chiamati i poteri esecutivi e giudiziari; in realtà quest'ufficiale era imposto e controllato dall'autorità centrale esercitata a Gubbio.

Il podestà infatti doveva possedere alcuni requisiti fondamentali: essere eugubino, avere almeno venticinque anni, essere guelfo, possedere nel contado di Gubbio beni per almeno sessanta lire (per poter risarcire la comunità nel caso in cui, durante il suo ufficio, avesse arrecato danno alla città), essere disposto a trasferirsi a Pergola nel palazzo del monte senza potersene allontanare se non per risiedere nel palazzo del piano.

Egli doveva essere eletto nel consiglio generale del popolo attraverso una commissione di ventiquattro prudenti tra cui il gonfaloniere, i consoli e quattro saggi. La commissione, inoltre, doveva esprimere il verdetto al vespro e gli erano concesse tre giornate, trascorse le quali, se non si era pervenuti ad una elezione, la decisione veniva rimandata al consiglio generale.

Una volta eletto, il podestà doveva recarsi a Pergola recando con sé un cavallo, dodici sbirri in grado di maneggiare le armi e un notaio. La carica del Podestà durava sei mesi o un anno al massimo e per evitare che si trasformasse in un tiranno se ne sconsigliava la rielezione. L'ultimo podestà di origine eugubina, Baldinus Telli, fu eletto nel 1378.

Anche sotto i Montefeltro, il compito principale del podestà rimaneva quello di controllo della comunità pergolese ma allo stesso tempo di espansione e crescita del potere urbinato su tutta la vallata, fino al mare.

Ma dopo una prima fase di crescita economica e demografica, anche Pergola subì la stessa sorte delle altre realtà del ducato di Urbino; i duchi si impossessarono di tutti i poteri nominando spesso personalmente ufficiali posti al controllo e alla riscossione delle tasse. La situazione politica, radicalmente mutata rispetto al passato, ma pur sempre di sudditanza rispetto ad un potere centrale e lontano dalla comunità, è descritta in maniera esaustiva nello statuto cinquecentesco custodito nel comune di Pergola⁶.

Il passaggio sotto lo stato pontificio non cambiò di molto la situazione: Pergola faceva capo al Governatore, riconosciuto con il nome di Cardinal Legato, residente in Pesaro. Egli esercitava il suo potere a Pergola tramite un Uditorio formato da quattro esperti di diritto civile e criminale, nominati direttamente da lui. Il potere esecutivo, come era stato istituito con i vecchi statuti, era affidato alla Magistratura cittadina, formata da un Gonfaloniere, quattro Priori e un Consiglio Generale. Si evince quindi che la classe dirigente era formata dal clero e dai nobili; seguiva il popolo formato dai commercianti, artigiani e contadini. In gran numero erano presenti nullatenenti e poveri. Questo aspetto contribuì ovviamente ad allargare il divario tra le classi sociali e ad assicurare alla classe dirigente il mantenimento dei privilegi di cui godeva fin dalla fondazione della città.

1.2.2.2 Aspetti economici

La ragione di carattere economico è stata di determinante importanza per la fondazione della città di Pergola. La mira espansionistica della città di Gubbio, infatti, insieme al bisogno di allontanare alcune ricche famiglie diventate ormai un ostacolo nella città eugubina, fu il fattore di maggiore rilievo per la creazione di una nuova comunità. Non a caso, infatti, i potenti di Gubbio scelsero una posizione strategica e particolarmente fiorente, situata alla confluenza di due fiumi, Cesano e Cinisco. In questo preciso punto del territorio, dove si incontrano naturalmente due vallate, venivano ad incontrarsi strade

provenienti da Cagli, Gubbio, Sassoferrato, Fossombrone, Senigallia e si tenevano numerosi scambi commerciali attraverso fiere e mercati.

Grazie ad attività come la tessitura, la tintura e la concia delle pelli, nonché ai commerci lungo la Valle del Cesano, la cittadina conobbe una notevole crescita economica. Queste attività, che risultavano essere le più redditizie nel periodo medievale, diedero il nome anche a diversi quartieri, nomi che vennero mantenuti nei secoli fino al 1800. Si può infatti notare nella tavola del catasto gregoriano come appaiano i nomi “Porta delle Fonti”, “Le Conce”, “Le Tinte”. Pure importante era già nel Medioevo la produzione vitivinicola. In pochi decenni il centro urbano si accresce di laboratori artigianali e diviene un importante luogo commerciale, a lungo conteso dagli Sforza, dai Malatesta, dai Montefeltro e dai Della Rovere.

Sotto la signoria dei Montefeltro si registrò un fortunato periodo di espansione che, dopo la parentesi di Cesare Borgia, proseguì con i Della Rovere, dai quali Pergola ottenne statuti che le assicurarono una più ampia libertà e un nuovo sviluppo sociale ed economico.

Ne la sola pace tornò ad arriderci, sibbene anche la prosperità. Si riebbbero le industrie locali dal colpo mortale che le passate vicende avevano loro recato; crebbe il commercio, anche per la costruzione di nuove strade, di nuovi ponti, in ispecie per la costruzione di quello del Metauro, che per agevolare il commercio tra Fano e Mondavio e Pergola fu edificato, e poté così Pergola tornare all'antica floridezza, nell'antica opulenza⁷.

In città c'erano “sette belle spetiarie / con tante merciarie / che eran distese omne di del mercato”⁸; così il Gaugelli descrive la Pergola di quel periodo, continuando a dire che sulla piazza principale si affacciavano i negozi dei calzolai in perfetta assonanza con la produzione locale delle conce.

Oltre ad incentivare il commercio, il duca di Urbino favorì Pergola dotandola di alcuni istituti di previdenza, che ebbero un ruolo determinante nell'ulteriore sviluppo economico della città. Si trattava della *Abbondanza a grano* e della *Abbondanza a olio* e del *Forno del pan venale*.

L'Abbondanza a grano acquistava il grano a prezzo di mercato durante la raccolta per rivenderlo allo stesso prezzo durante l'inverno e i periodi di carestia.

La città di Pergola: quadro storico ed economico

I tre istituti garantivano, oltre alla sopravvivenza delle persone più povere, anche la stabilità dei prezzi dei generi di prima necessità e di conseguenza uno sviluppo uniforme del reddito.

Nel 1631, con il passaggio allo Stato Pontificio, il centro conobbe un lungo periodo di decremento demografico e di difficoltà economiche, compensate solo in parte dal ciclico rifiorire dell'industria tessile e conciaria. Significativa risultò infatti la differenza del trattamento fiscale tra i commercianti e la classe dirigente. Mentre tutta la popolazione attiva, commercianti, industriali, agricoltori, erano costretti a pagare molte tasse, il clero e parte della nobiltà erano esentati da qualsiasi tributo.

E' nei secoli XVII e XVIII che Pergola raggiunse la sua massima espansione economica tanto che Papa Benedetto XIV con la Bolla "Romanum decet Pontificem" del 18 marzo 1752, la elevò al grado di Città e le concesse la nomina di un laureato ecclesiastico a

Vicario Generale Vescovile. La piazza di Pergola veniva accettata per stabilire il prezzo del grano a valere in tutto il territorio della legislazione di Urbino.

L'importanza di Pergola venne riconosciuta nel 1752 con la concessione del titolo di città da parte di papa Benedetto XIV e con l'autorizzazione a battere moneta, anche se la zecca durò solo tre anni (1796-99) a causa dell'invasione napoleonica.

Nel 1773 ci furono accordate, con chirografo pontificio 27 agosto, altre due fiere, delle quali l'una – detta di San Vitale – si sarebbe dovuta fare il 28 aprile, e l'altra – di S. Michele Arcangelo – il 30 settembre. Con lo stesso chirografo ci fu permesso di poter fare due mercati la settimana, invece di uno: il mercoledì e il sabato. Fino al 1770, poi, era stata concessa al nob. Orazio Latoni, insieme al titolo di marchese del Lanaro, la facoltà di fare due fiere, nello stesso Lanaro, il lunedì in albis e il 1° ottobre (chir. 27 agosto).

Tali fiere e mercati furono frequentatissimi fin dalla loro istituzione; e le fiere non sarebbero poi andate in disuso ove, oltre ad essere in appresso divenute ben peggiori le condizioni economiche della cittadinanza, non se ne fossero concesse altre a città e terre vicine per quegli stessi giorni in cui esse ricorrevano⁹.

Nel 1797 Pergola venne occupata dalle truppe francesi e divenne parte del Regno Italico.

In questo periodo venne spogliata di preziose opere d'arte custodite nelle chiese, nei monasteri, nei palazzi pubblici e privati.

Il 1800 si aprì con la restaurazione pontificia, un breve rifiorire dell'economia ma anche nuovi fermenti politici e civili.

L'8 settembre del 1860 Pergola fu la prima città delle Marche ad insorgere contro il Regno Pontificio, favorendo l'annessione della regione al Regno d'Italia e guadagnandosi la Medaglia d'Oro per "benemeritenze acquisite durante il periodo del Risorgimento Nazionale".

La raggiunta unità si accompagnò però a nuove difficoltà sociali ed economiche, fugate dall'apertura della ferrovia Fabriano-Pergola-Urbino (distrutta nell'ultimo tratto dai tedeschi durante la Seconda Guerra Mondiale), la scoperta delle miniere di zolfo di Percozzone e Cabernardi (1877-1886), la realizzazione della raffineria del minerale a Bellisio Solfare, che sostennero l'economia pergolese fino alla metà del '900.

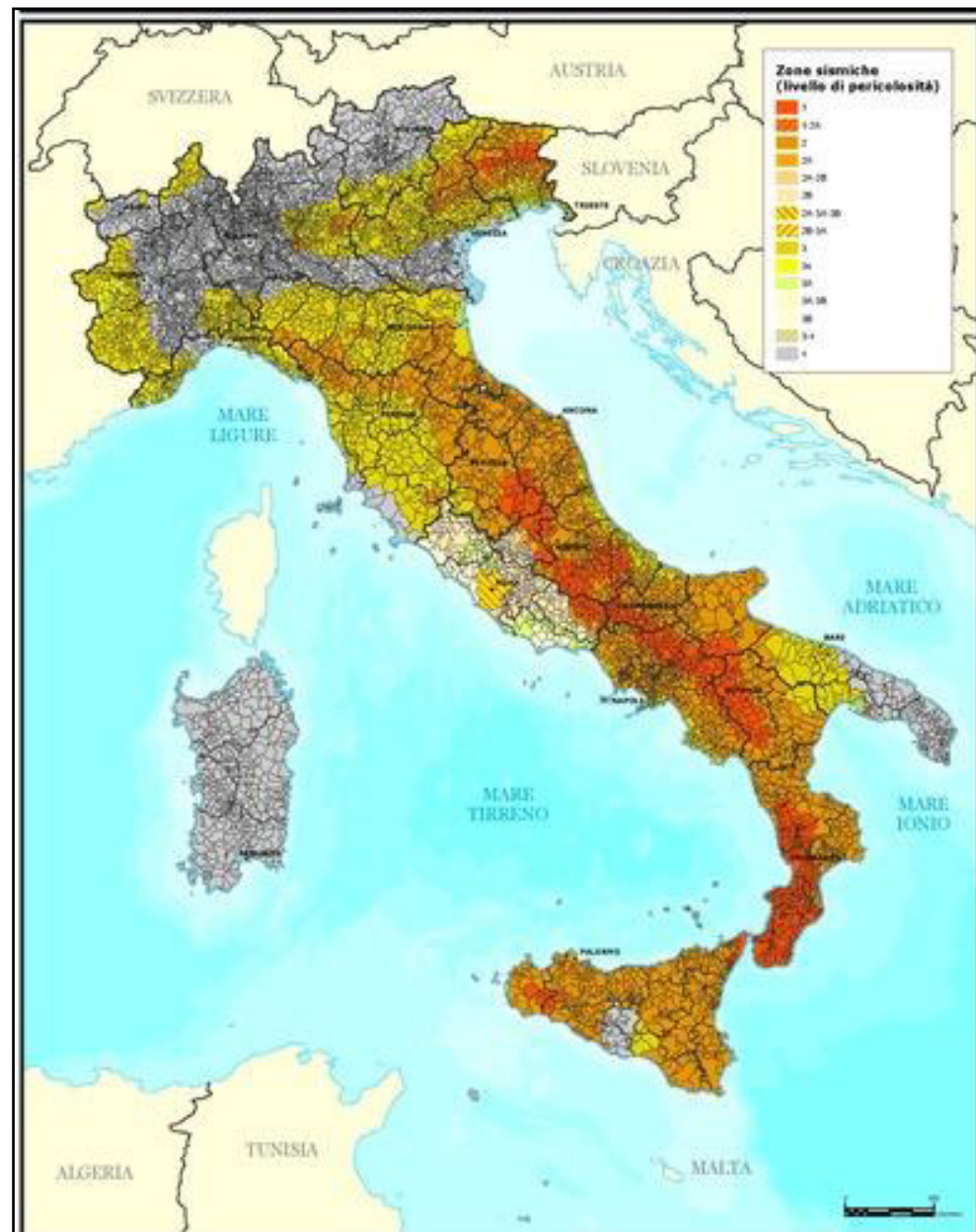


Monete prodotte nella Zecca di Pergola, 1752, Museo dei Bronzi Dorati, Pergola

2.2.3 Vicenda sismica

La sismicità dell'Appennino Umbro-Marchigiano è caratterizzata da 3 fasce parallele. La prima coincide con l'Appennino, sede dei terremoti più distruttivi; la seconda con la porzione interna delle Marche, sede di terremoti forti anche con profondità ipocentrali elevate; la terza fascia è quella del fronte adriatico, quello più esterno della struttura appenninica.

Il territorio del Comune di Pergola è stato classificato di seconda categoria (S = 9) ai sensi del decreto del 10.02.1983, pubblicato sulla G.U. n. 80 del 23.03.1983 e confermato dalla



Classificazione sismica Italia 2014

Nuova Classificazione Sismica del territorio nazionale effettuata dal Dipartimento della Protezione Civile – Ufficio Servizio Sismico Nazionale (2014). I terremoti che si possono generare nella regione Marche, e quindi anche nel territorio in esame, sono di origine tettonica, cioè dovuti ad uno rilascio repentino di energia elastica di deformazione, immagazzinata nel sottosuolo con meccanismo di dislocazione che si propaga lungo una superficie.

Il territorio di Pergola è stato interessato negli ultimi secoli da vari terremoti che hanno raggiunto l'intensità massima pari a 7-8 gradi della Scala MCS nell'anno 1781.

Il primo evento sismico, documentato nella storia tellurica del comune di Pergola, si verificò il 1° maggio 1279, con epicentro compreso tra Camerino e Nocera Umbra ed intensità di magnitudo 6.3. I alle cose e alle persone furono ingenti ma il numero di vittime rimane ignoto.

Più documentato è invece il terremoto del 24 aprile 1741, con epicentro tra Pierosara e Serra S. Quirico, di magnitudo 6.0.

Nel dì 24 aprile 1741, circa le 15h 1/2 ital[iane], si sentì nella Marca una triplice scossa di terremoto per la quale Fabriano soffrì più di ogni altro paese, avendo i danni sorpassata la somma di scudi 100000: in quella tremenda congiuntura si ebbero 7 vittime, tre delle quali sotto le rovine della chiesa dei Cappuccini. Al replicar delle scosse nella chiesa di S. Venanzio diroccò la facciata, in quella di S. Nicolò il campanile che, cadendo, fracassò la chiesa: il tempio di S. Romualdo fu ridotto in un mucchio di macerie: quello di S. Caterina fu lesionato: la chiesa di S. Benedetto con il convento e le case annesse risentirono danni, per il cui ristauo furono preventivati necessari 7000 scudi. Moltissime case dei privati vennero gettate a terra.

In Serra S. Quirino [...] i guasti furono immensi si nel paese che nel contado.

In Urbino tutte le case furono danneggiate (scudi 26999): diroccarono due torri antiche nel palazzo ducale: gli edifici che più risentirono gli effetti del terremoto furono le carceri, il convento di S. Francesco (in cui oltre il campanile rovinarono i muri e le volte della chiesa nuova) la chiesa metropolitana, il palazzo ducale, l'arcivescovile e quelli dei signori Corboli, De Praetis e Boni.

[...] la scossa fu terribile: essa poi fu forte a Trevi, a Forlì e Cesena; a Mantova causò una considerevole fenditura [...]; fu sentita a Roma, a Firenze, a Parma, a Lodi, a Udine e in tutto il Friuli; fu abbastanza sensibile a Vicenza¹⁰.

Non vengono documentate, però, eventi sismici immediatamente successivi, fatto di per sé abbastanza strano per un terremoto di tale intensità; considerato infatti che il Settecento per quest'area è un periodo molto ben documentato, è molto probabile che davvero non ci siano state scosse significative. Grazie a questo elemento, insieme all'estensione dell'area danneggiata, si può dedurre che la profondità del ipocentro fosse molto elevata.

*Pochi anni appresso – nel 1781 – una grave sciagura colpiva tutta la regione: il terremoto. Mentre però nelle vicine città si ebbero a piangere vite umane, (Cagli ne ebbe nel solo Duomo settantacinque), volle Dio risparmiare tanto lutto alla nostra Pergola, ove la tremenda scossa rovinò case, rese inabitabili palazzi (quello comunale fu reso in tale stato da esser divenuto pericolosissimo, impossibile, anzi, l'abitarlo), ma niuna persona ne soccombette; mentre cadendo in quel giorno la festa deo SS. Protettori (3 giugno), ed essendo il terremoto avvenuto alle ore undici, quando per la Messa solenne che celebra vasi in Duomo, questo era stivato di gente, sarebbe bastato che tale tempio fosse, come quello di Cagli, rovinato, perché la cittadinanza tutta – diremmo quasi – fosse in quel giorno perita. E a ringraziare Dio dello scampato pericolo si dispose quindi di fare per cinque anni, alle ore undici del 3 giugno, una processione di penitenza, di sospendere ogni divertimento per tre anni e di digiunare in perpetuo nel sabato precedente la prima domenica di giugno; [...]*¹¹.

Il disastroso terremoto di Cagli avvenne alle ore 11 ant. Circa del 3 giugno: pare che sia stato preceduto nella notte da qualche scossa assai leggera.

A Cagli durò lo spazio di un miserere ed incominciò con un tremito, cui susseguì un urto e poi un violento moto ond. ; dopo una breve pausa si ebbe una nuova ripresa violenta ed assai lunga: in tale occasione fu vista la terra aprirsi e chiudersi istantaneamente ed oscillare in modo visibile gli alberi.[...]

*I fenomeni acustici e le repliche furono assai frequenti nei primi giorni dopo la scossa: ne furono contati anche trenta o quaranta nello spazio di 24^h. Scosse susseguenti più gagliarde furono intense nei giorni 13, 15 e 21 giugno e al 27 del mese seguente [...]*¹²

Altri fenomeni sismici si avvertirono nel 1799 , nel 1873, nel 1916, nel 1924, nel 1943 e nel 1972, ma di più lieve intensità e con danni non riscontrati se non per episodi isolati.

L'ultimo evento sismico di rilevante importanza fu quello del 26 settembre 1997. Con un picco di magnitudo 6.0 ed epicentro nei pressi di Colfiorito, lo sciame sismico iniziò a maggio e proseguì per un anno. La prima scossa notturna, la più forte, fu avvertita alle 11.42. I danni maggiori si riscontrarono a Foligno (dove il 14.10 crollò il campanile della cattedrale in seguito ad un'altra scossa), Nocera Umbra (85% degli edifici inagibili e crollo della famosa torre cittadina), Preci, Sellano, Fabriano, Camerino, Serravalle, Visso, Matelica.

Ad Assisi crollò la volta della basilica superiore, uccidendo 4 persone che stavano



Cattedrale di Pergola, lavori per evitare il completo distacco della facciata, sisma 1997



Irrigidimento della volta di un edificio di Pergola, sisma 1997

eseguendo un sopralluogo. 11 furono le persone decedute, e 32mila i senzatetto.

Nel territorio di Pergola il terremoto arrecò danni alle agli edifici storici ma non ebbe conseguenze sulle persone.

Gli edifici in cattivo stato di manutenzione o carenti di accorgimenti che ne stabilizzino la struttura riportarono i danni più significativi e tanti furono dichiarati inagibili, ma non si verificò nessun crollo delle strutture. Le chiese subirono gravi danni: la cattedrale, ad esempio, oltre alle fessure riportate sulla volta della navata centrale, presentò un parziale distacco della facciata, dovuto al fatto che questa fu ricostruita nel Seicento, a differenza della restante struttura portante della chiesa di origine duecentesca.

Per quanto riguarda gli edifici di edilizia privata i danni più comuni furono l'apertura di profonde fenditure nei muri, il cedimento delle fondazioni di parte degli edifici, i distacchi di intonaci dalle facciate, l'aggravamento delle lesioni già presenti a causa del cattivo stato di conservazione.

In seguito vennero stanziati finanziamenti per la ricostruzione e la messa in sicurezza degli edifici storici e non.

A seguito della ricostruzione storica appena descritta si deduce che il panorama della situazione di rischio sismico del territorio pergolese appare alquanto significativo; sembra opportuno, quindi, attivare delle politiche di prevenzione del rischio che possano "incentivare" le attività di verifica delle vulnerabilità.

Il lavoro che si propone con questa tesi è, infatti, volto ad incentivare l'adozione di strumenti di analisi e prevenzione del rischio sismico, in modo da poter adottare delle scelte progettuali in grado di evitare danni significativi alle strutture, riscontrabili in seguito ad eventi sismici.

Solo in questi termini si potranno ridurre in maniera significativa i danni ed i costi che deriveranno dai futuri eventi sismici che coinvolgeranno le Marche e il territorio di Pergola.

Note

¹Archivio di Stato di Gubbio, *Fondo Com. Diplom.*, busta 1/5, riportato in BALDELLI M., *Tardogotico e Rinascimento a Pergola*, pp.76-77

"1234, marzo 15. Ugulinus q. Alberti de Grefolletto con diritto enfiteutico 'dedit, cessit, concessit, tradidit atque donavit Paterniano Duvicelli et Iohanni Bonafide' sindaci del comune di Serralta e dei massari di Montepiscopale della terra in comitatu eugubii 'ad castrum edificandum et communitiam fatiendam in Colle Pergula [...] scilicet pro casalinis, pro plateis, fosso vel fossis, pro robore, pro ripis, pro introitu et exitu'".

²NICOLETTI L., *Di Pergola e dei suoi Dintorni*, pp.49-50

"circa l'etimologia del nome di pergola fa fede della tradizione ch'ivi ne corre un cittadino pergolese del secolo passato in una lettera al Prior Armani, così dicendo: Il nome di Pergola fu dato a questa terra per cagione che nella strada dove oggi è la piazza, intesa la maggiore, c'era una chiesuola a canto alla quale vi

La città di Pergola: quadro storico ed economico

era una vite sostenuta da certi legni, che chiamasi pergola, dal cui nome il sito si chiamava il colle della Pergola, come da intrometti antiche si raccoglie. Detta chiesa era ed è membro dell'Abbadia di Satria ed il Rettore ha per obbligo di portar nella festa dell'Assunta della B.V. un cestello d'uva, per cagione di quella vite, che, come s'è detto, si trovava a quella chiesa contigua. Inoltre la Comunità di questa terra fa per corpo d'impresa tre monti e attorno una vite d'uva, volendo alludere alla detta vite. Così chiamata fu Pergola questa terra".

³ NICOLETTI L., *Di Pergola e dei suoi Dintorni*, Pergola 1899, p.108

“Quando all'alba del ventidue agosto, dopo quindici giorni di assedio, di lotta, dopo quindici giorni in cui le bombarde avevano fatto strage dei miseri Pergolesi, e avevano atterrato in molti punti i loro ripari, ordinate tutte le milizie sforzesche in diverse squadre, si prepararono ad un ultimo, supremo attacco, e poste le bombarde dai due lati, cominciarono quindi a fulminare le sdrucide mura; e infine, scorgendo non poter aver ragione di uno di quei punti, riunitesi sul colle dei Cappuccini tutte diressero i loro sforzi alla espugnazione della torre e delle mura vicine. Tutto il giorno durò il trarre delle bombarde; tutto il giorno durò la resistenza dei decimati ma imperterriti Pergolesi.

E già la speranza di poter sostenere anche questo supremo attacco cominciava a confortare quei valorosi: quando avvicinati alla torre le macchine da assedio, bentosto la fecero ruinare con le mura vicine. E allora (erano le ore ventitré) fuggiti gli ultimi difensori, il conte di Urbino, seguito dagli altri duci, entrò per l'aperta breccia.

Ahi, misera Pergola! Che ne fu allora di te, dei tuoi sventurati figli? [...]”.

⁴ Gabella: nel Medioevo, imposta o tassa. Nel XVI secolo divenne nome della moneta d'argento coniata a Bologna.

⁵ Consiglio di Credenza: gruppo di canonici che esaminava e discuteva le proposte della Magistratura prima che esse fossero presentate al Consiglio Generale. Aveva diretta vigilanza sulla pubblica amministrazione, ed era in facoltà di prendere moltissimi provvedimenti senza interpellare il predetto Consiglio Generale.

⁶ BALDELLI M., *Tardogotico e Rinascimento a Pergola*, pp.50-51

“Dello statuto cinquecentesco esistono 3 esemplari recentemente restaurati e custoditi presso il comune di Pergola.

A) codice manoscritto pergamenaceo di carte 216. ...

B) volume manoscritto e pergamenaceo mutilo delle ultime carte che accoglievano la parte finale della rubrica 30 del V libro e le successive. ...

C) *Statuta terrae Pergulae*. ...”

“Il codice cinquecentesco, o meglio i tre esemplari conservati in Pergola, suddividono il vasto dettato statutario in 5 libri.

Il primo libro composto da 36 rubriche è dedicato alle norme che regolavano l'elezione, il giuramento, la durata dell'incarico, le competenze e il salario di ogni singolo ufficiale che operava negli organi amministrativi del comune di Pergola, dal podestà ai messi comunali fino ai plazarios.

Il secondo libro composto da 69 rubriche ha come oggetto le cause civili. In esso vengono trattate le persone, le famiglie, le proprietà e le modalità per acquisire o cedere beni immobili. Da un'analisi comparata dei 09 capitoli pergolesi e delle 60 rubriche che compongono il secondo libro dello Statuto Vecchio di Gubbio risulta che nell'esemplare cinquecentesco sono confluiti quasi tutti i capitoli eugubini,

anzi, in molti casi questi ultimi vengono ripresi parola per parola, quasi alla lettera, nell'esemplare pergolese.”

“Il terzo libro, dedicato alle cause penali, è composto da 109 rubriche. In esse trovano spazio le norme per prevenire e punire le azioni criminali più gravi: contro la persona o la stabilità politica e sociale della comunità. Le norme relative ai reati minori vengono distribuite negli altri libri.

Il quarto libro, composto da 69 rubriche, detta norme in materia di danni dati che, come tutti sanno, sono danni provocati dalle persone o dagli animali incustoditi contro la terra e i suoi prodotti o tutto ciò che riguarda la coltivazione e la raccolta dei frutti. Tali norme che oggi potrebbero sembrare di poco conto, rivestivano un'importanza vitale per i comuni che proprio dall'agricoltura e dall'allevamento ricavano i mezzi primari di sussistenza e per questo erano fortemente impegnati nella tutela del territorio.

Il quinto libro, composto da 33 rubriche, ha per oggetto i casi straordinari, cioè tutti i comportamenti che mettono in crisi lo svolgimento sereno della vita quotidiana.”

⁷ NICOLETTI L., *Di Pergola e dei suoi Dintorni*, Pergola 1899, pp. 197-198

⁸ GAUGELLI G., *Lamento de la Pergola*, Bibl. Vaticana, Cod. Urbinata, 692

⁹ NICOLETTI L., *Di Pergola e dei suoi Dintorni*, Pergola 1899, pp.252-253

¹⁰ BARATTA M., *I Terremoti d' Italia*, Torino 1901, pp.229-230

¹¹ NICOLETTI L., *Di Pergola e dei suoi Dintorni*, Pergola 1899, pp.251

¹² BARATTA M., *I Terremoti d' Italia*, Torino 1901, pp 265-267

Bibliografia

NICOLETTI L., *Di Pergola e dei suoi dintorni*, Pergola 1899, pp. 49-50, 108, 129-

CECINI N., *Pergola lettura della città e del territorio*, Pergola 1982, pp.21-68

BALDELLI M., *Tardogotico e Rinascimento a Pergola*, Pergola 2004, pp.23-45, 47-52

SEBASTIANELLI S., *L'alta valla del Cesano nel Medioevo*, in “Atti e Memorie della Deputazione di storia patria per le Marche”, 83 (1978), Ancona 1979

SEBASTIANELLI S., *Il patriottismo pergolese nell'unità d'Italia*, Urbino 1962

EUTIZI G., *C'era una volta. Piccola storia di un piccolo castello, Monterolo*, Pergola 1969, pp. 67

ANSELMO A., *Scoperte archeologiche presso pergola*, in " Nuova Rivista Misena" , Pergola, 1892, num I, p. 14)

BARATTA M., *I Terremoti d' Italia*, Torino 1901, pp.229-230, 265-267

Siti web consultati

http://www.protezionecivile.marche.it/viewdoc.asp?CO_ID=349

<http://ingvterremoti.wordpress.com/2014/04/24/24-aprile-1741-i-funesti-rincontri-di-una-terribile-e-lunga-scossa-nelle-marche-e-in-umbria/>

<http://www.meteoweb.eu/2012/06/esclusiva-meteoweb-tutti-terremoti-con-magnitudo-superiore-5-5-della-storia-ditalia/1413>

2.3 Quadro urbanistico

2.3.1 Descrizione delle mappe e dei documenti consultati

Come nulla può essere studiato approfonditamente senza conoscere le sue origini, anche il lavoro di individuazione della vulnerabilità sismica degli aggregati, non può iniziare senza una adeguata ed attenta analisi dell'evoluzione urbanistica del centro storico, dalla fondazione del castrum, ai giorni nostri.

Per recuperare tali informazioni, di vitale importanza per il progetto, la ricerca non può che cominciare dagli archivi storici e dai fondi storici delle biblioteche. Questi documenti, infatti, aiutano a comprendere le motivazioni alla base della fondazione del centro, e gli interventi eseguiti negli anni successivi, che lo hanno portato ad assumere la conformazione che oggi possiamo osservare.

È di uno scultore locale, e scolpita tra il 1385 e il 1430, la più antica rappresentazione di

Pergola. Si tratta di una scultura raffigurante San Secondo (Fig. 1), patrono della città, che custodisce e protegge Pergola, realizzata, secondo lo storico Sebastianelli, in occasione del passaggio di Pergola da castrum a Terra, dovuto a Pandolfo Malatesta. Il dettaglio più significativo è quello riguardante l'apparato difensivo del centro urbano: la statua, infatti, rappresenta un complesso di mura e torri e uno steccato in legno. Quest'ultimo è un elemento difensivo più trecentesco che quattrocentesco. Non dimentichiamo, però, come detto nel capitolo precedente, che Pergola originariamente, sorse per ospitare le famiglie fuggitive di Gubbio e Cagli, e come polo di scambio economico e culturale, agevolato dalla confluenza dei due fiumi, Cinisco e Cesano.

Le famiglie fuggiasche e i commercianti che si fermavano a Pergola avevano, quindi, bisogno di essere adeguatamente difesi; ecco il perché della costruzione dello steccato oltre le mura.

Un'altra testimonianza scultorea, risalente allo stesso periodo, la troviamo alla sommità

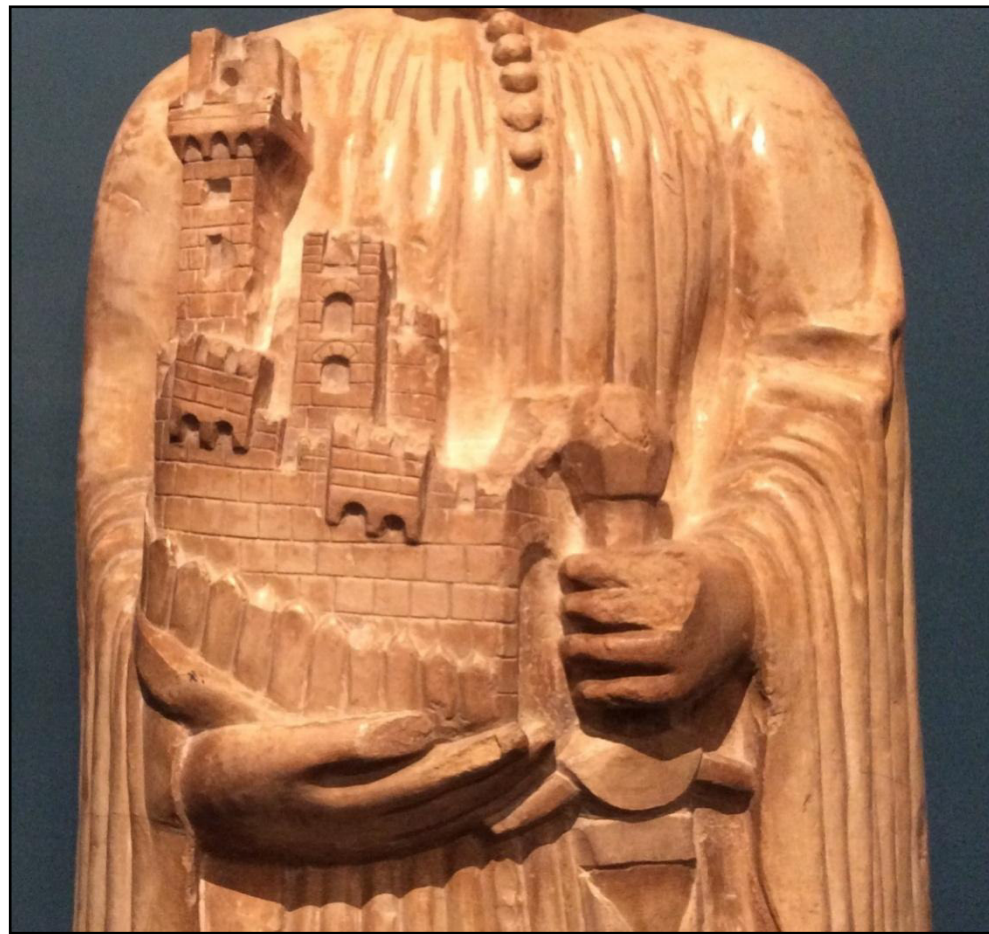


Fig.1 Particolare della statua di San Secondo, Museo dei Bronzi Dorati di Pergola

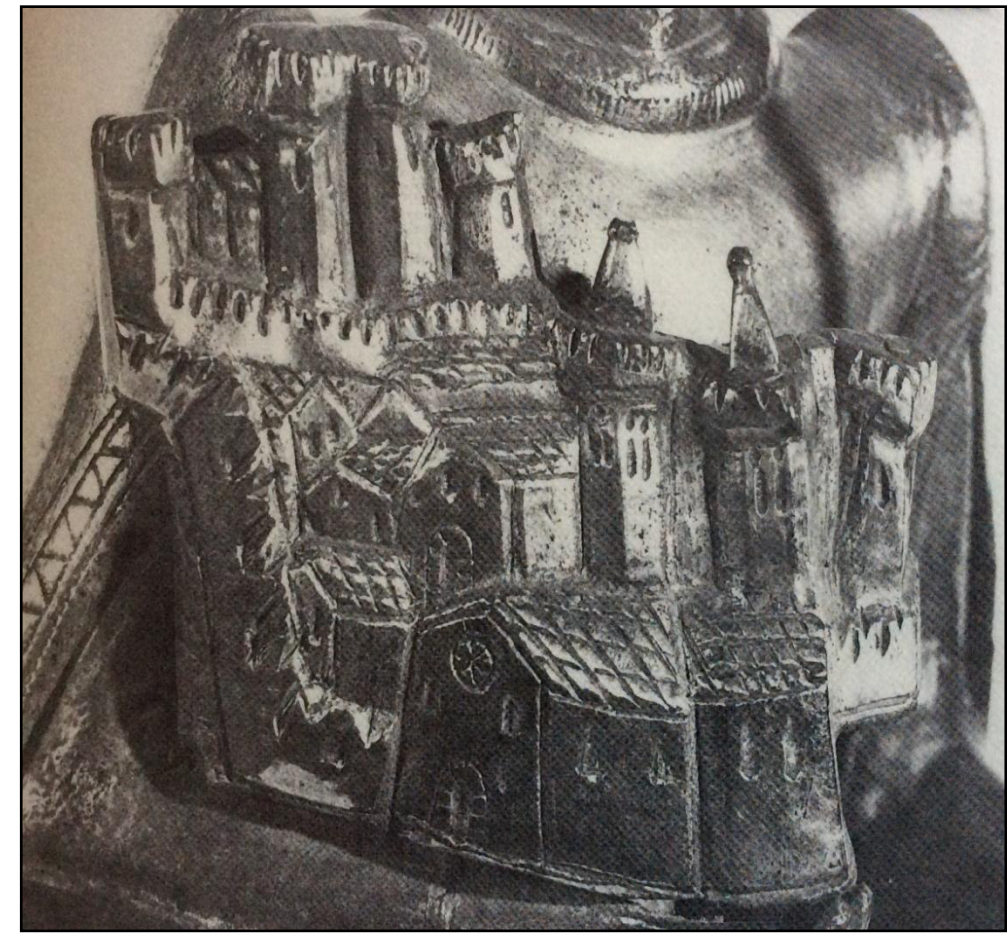


Fig. 2 Particolare del reliquiario di San Secondo, Cattedrale di Pergola

La città di Pergola: quadro urbanistico

del reliquario di San Secondo, custodito nella cattedrale della città (Fig. 2). Secondo gli storici, la rappresentazione deve essere collocata in un periodo storico successivo rispetto alla precedentemente descritta. Questo sembra essere confermato dalle differenze rilevate rispetto alla statua di San Secondo. A prima vista sembra che tra le due rappresentazioni non vi siano notevoli differenze; si vede, infatti, la fortificazione che scende come per la statua di San Secondo, e la visuale della città sembra pressoché corrispondente. Ma, ad uno sguardo più attento, si può notare come nella seconda raffigurazione, scompaia completamente lo steccato in legno, e appaia invece una seconda cortina di mura alla sommità della città, attorno alla rocca, posta sul punto più alto della collina e costituita da una parte più alta e altre torri ai suoi lati.

Un altro documento importante per comprendere lo stato delle fortificazioni e le condizioni della rocca, è la veduta di Pergola ad opera di Francesco Mingucci da Pesaro (Fig. 3), risalente al 1626. Qui, infatti, si nota come la cintura muraria risulti solida e continua intorno alla città. Una particolare da sottolineare è la rocca che viene raffigurata nelle sue fatiscenti condizioni, ridotta ormai in rovina e utilizzata come cantiere per la costruzione di altri edifici.

La prima mappa della città (Fig. 4), risalente al 1573, ci propone un recinto murario abbastanza regolare, quasi un castrum, con due sole porte lungo l'asse nord-sud della città e quattro torri circolari agli angoli. Questa rappresentazione, se può essere considerata veritiera da un lato, in quanto è vero che Pergola nasce come città di nuova fondazione, con

una maglia urbana ed isolati regolari, organizzata lungo un asse principale, che divide la città in maniera non simmetrica, e un sistema di vie minori disposte a pettine; si può anche affermare che non sia proprio corrispondente alla vera conformazione della città. Sappiamo infatti che fin dalla sua fondazione Pergola presenta quattro porte disposte in maniera asimmetrica lungo le mura cittadine (San Marco, Sant' Andrea, Piaggiola e Campetello), e le vie secondarie non potevano sorgere in maniera regolare per il naturale scoscendimento della collina.

Più dettagliata è la mappa, del XVII secolo, attribuita a Francesco Ricci (Fig.5). L'impianto urbanistico e le linee generali del centro storico appaiono molto differenti rispetto alla mappa precedente; il dettaglio con cui sono individuati gli aggregati urbani è sicuramente di qualità superiore e permette di distinguere gli aggregati con impianto a corte



Fig. 3 Veduta di Pergola, Francesco Mingucci, 1626, Biblioteca Apostolica Vaticana

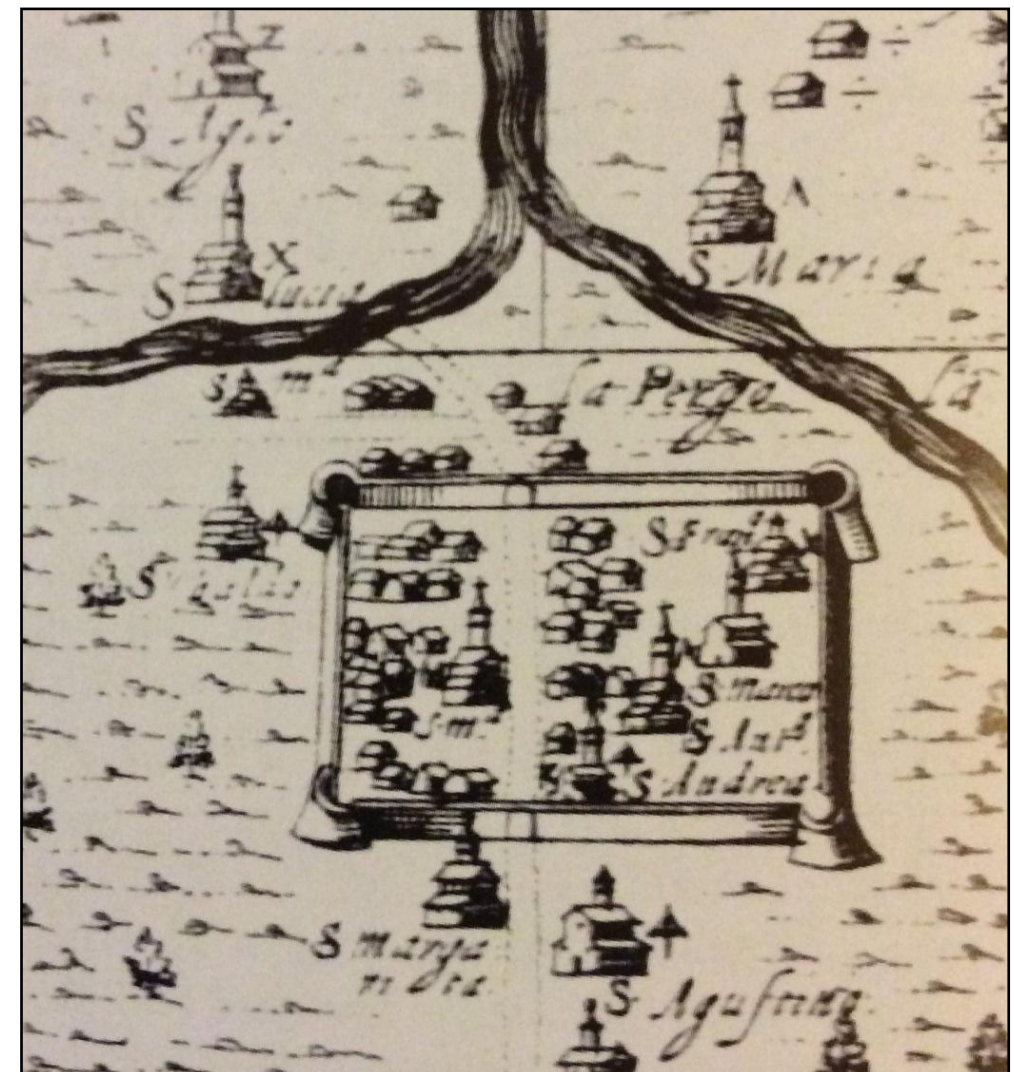


Fig. 4 Particolare del castello di Pergola, Carta della Diocesi di Uggubio descritta dal R.do Ubaldo Georgi Clerico Eugubino, 1573

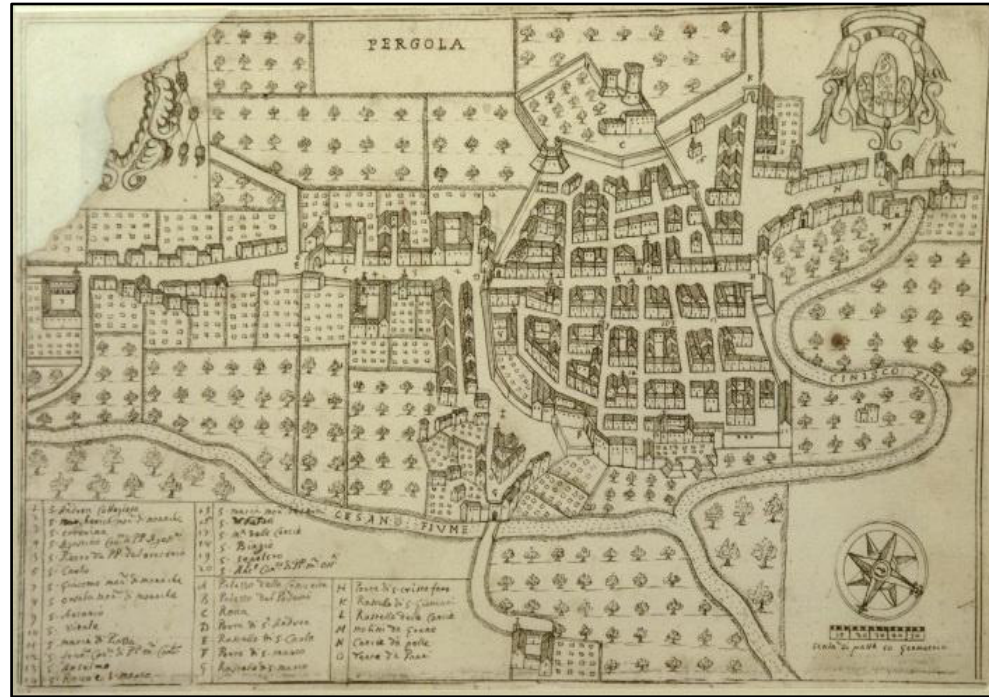


Fig. 5 Veduta in pianta prospettica di Pergola, Francesco Ricci, 1650-1674, Fondazione Cassa di Risparmio di Pesaro

da quelli con impianto in linea. La ricca legenda inoltre permette di individuare perfettamente i numerosi edifici ecclesiastici e pubblici, e le porte d'accesso alla città. Oltre alle già citate porte di S. Andrea, S. Marco, Campetello e Piaggiola, sono indicate anche Porta S. Carlo, anche detta Porta S. Agostino, posta a chiudere la città oltre Porta S. Andrea, Porta delle tinte, Porta di S. Giovanni, anche detta Porta di S. Cristoforo, e Porta delle Conce.

Si ha, inoltre, conferma che la rocca, pur essendo ormai andata quasi completamente in rovina, è una vera e propria piazza d'armi. Se si fa la proporzione con il resto del centro abitato, ci si accorge immediatamente che la superficie della rocca ne occupa gran parte. Le mura cingono praticamente tutta la parte pianeggiante superiore della collina, dove ancora si vedono i resti della grande torre che dominava la città con lo scopo di controllare l'abitato e i percorsi urbani che risalgono dal centro della città alla collina.

Sul fronte settentrionale è riportata una coppia di torri poligonali molto vicine, tra le quali sembra apparire la sagoma di una porta d'accesso, come appare nella veduta del Mingucci (modello che si ritrova anche in altre città nello stesso territorio come ad esempio a San Costanzo). Le mura sono intervallate da quattro porte d'accesso alla città.

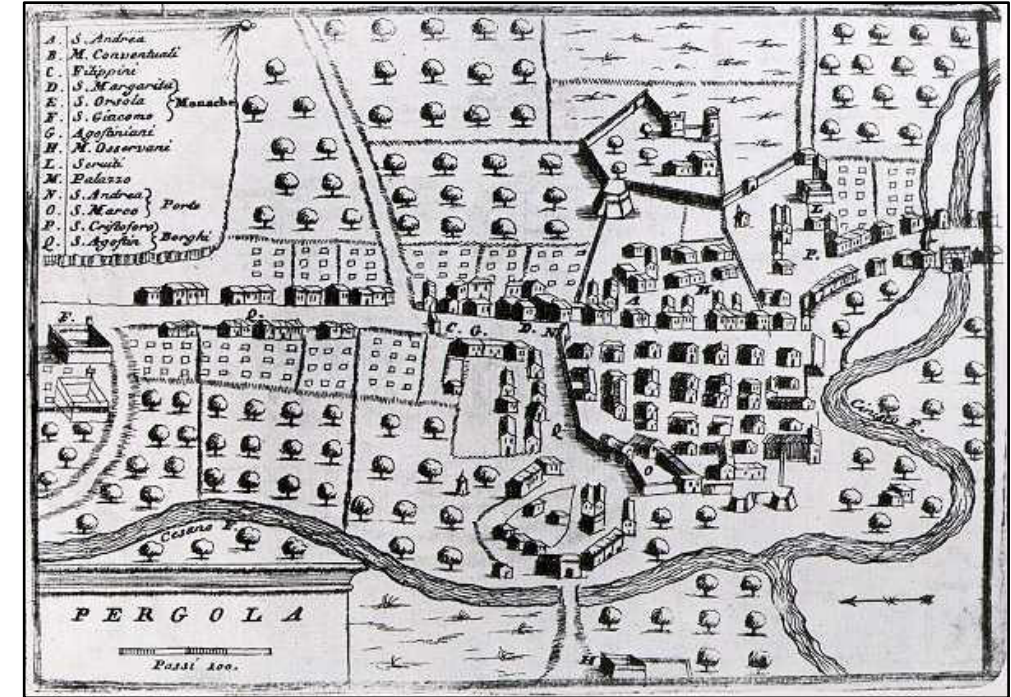


Fig. 6 Mappa di Pergola, Terre delle guerre. Stato Ecclesiastico, V. Coronelli, Roma 1708

Qui il centro storico, ormai formato nella sua quasi interezza, è individuato, come nella mappa del 1573, da un asse principale nord-sud dal quale a pettine si diramano le vie secondarie. In questo caso, però, è evidenziata l'irregolarità urbanistica del porzione occidentale della città, dovuta allo scoscendimento naturale della collina.

Tutto è confermato nella mappa del Coronelli del 1708 (Fig.6). Questa sembra essere una copia semplificata della precedente in cui, appunto si possono individuare i caratteri preponderanti dell'assetto urbanistico della città.

Del periodo in cui ancora Pergola era nominata come "terra", quindi antecedente al 1752, è il disegno in pianta di una parte della città(fig.7), ad opera presumibilmente di Giovan Francesco Ferri (Archivio diocesano di Gubbio). Qui viene rappresentata in maniera dettagliata, la planimetria di vari aggregati facenti parte dei quartieri S. Marco e S. Agostino. I colori diversi denotano l'appartenenza ai due diversi quartieri, il colore giallo è cura di S. Marco e il colore rosso è cura di S. Agostino. Ciò permette di comprendere in maniera esaustiva l'assetto urbanistico dei quartieri e in particolare la partizione interna degli aggregati edilizi urbani; il quartiere di S. Agostino è racchiuso, a sud e ovest, entro le mura sulle quali si appoggiano aggregati sviluppati a schiera e tutto il complesso della chiesa e del convento e a est è delimitato dal corso principale.

La città di Pergola: quadro urbanistico

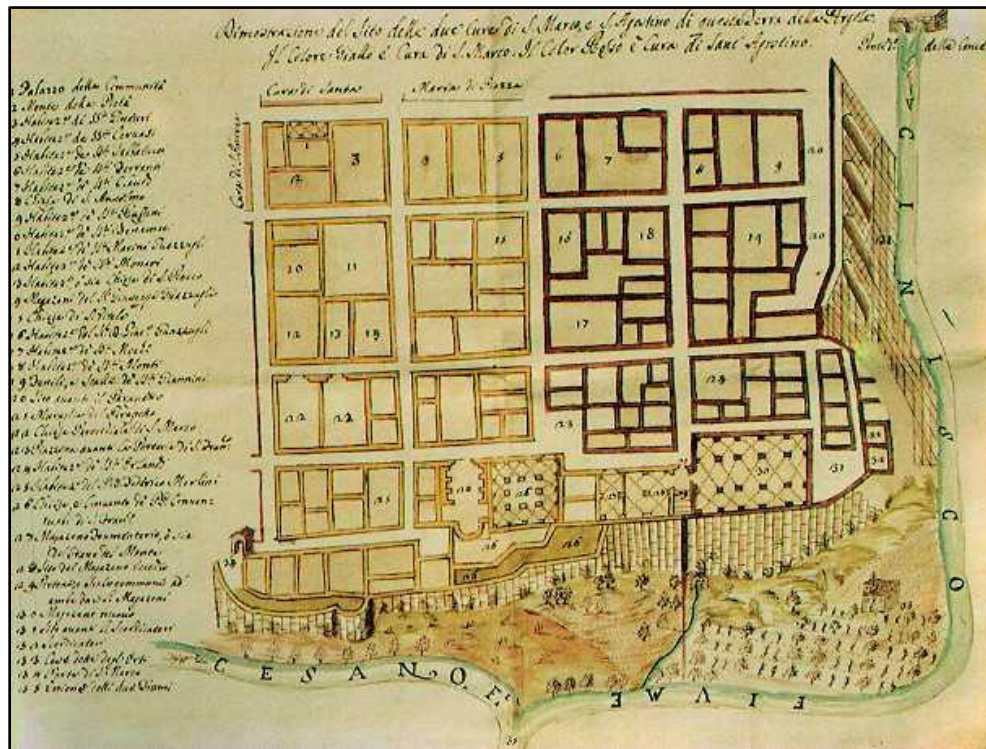


Fig. 7 Dimostrazione del sito delle due Curie di San Marco e San Agostino di questa terra di Pergola, XVIII secolo, Archivio della Curia Vescovile di Gubbio

La Pianta di Pergola (fig.8), risalente al 1751, è stata disegnata dal Ferri per “distinguere le diverse Giurisdizioni/ Ecclesiastiche e Parrocchie”, come scritto sulla tavola stessa. Anche qui i colori diversi, oggi non più visibili, stavano ad indicare l'appartenenza ad un determinato quartiere.

Questo documento si è rivelato di notevole importanza per determinare la sagoma degli aggregati presenti all'interno delle mura della città, facilitando così il percorso di ricerca ed analisi urbanistica.

Un documento, di fondamentale importanza per rilevare l'assetto urbanistico della città di Pergola nella prima metà del XVIII secolo, è il disegno acquerellato su carta ad opera di un disegnatore di Casa Passeri (Fig.9). Lo schizzo prospettico dello storico Sandro Sebastianelli (Fig.10) ne riproduce una parte abbastanza estesa del centro storico. Il centro è visto dal colle dei Barbanti, a nord rispetto alla città. Sulla sinistra sono individuabili la chiesa di S. Francesco e più in alto la Madonna delle Tinte con il quartiere omonimo e quello delle Birarelle. Al centro si nota l'alto campanile della chiesa di S. Andrea che aveva anche la funzione di torre civica. In primo piano, è visibile la cupola e parte della chiesa dei Servi abbattuta alla fine del 1800.



Fig. 8 Pianta di Pergola, G. F. Ferri, 1751, Museo dei Bronzi Dorati di Pergola

Questo documento con la pianta del 1751 sono i più significativi per il lavoro di ricerca che si vuole portare avanti. Permettono, infatti, tramite il raffronto, l'uno in pianta e l'altro in prospettiva, di avere un quadro completo dell'assetto urbanistico della città nei primi anni del 1700. Come è visibile il centro storico è pressoché completamente formato; gli interventi successivi, infatti, sono volti più che altro ad alleggerire la pienezza degli aggregati. Solo in alcuni casi si registra la chiusura delle corti interne.

Il Catasto Gregoriano (Fig.11) è il primo catasto generale geometrico particellare dello Stato pontificio: fu promosso da Pio VII nel 1816, nell'ambito di una complessiva riorganizzazione amministrativa dello Stato, e prese il nome di Gregoriano perché attivato da Gregorio XVI nel 1835.

Un organismo centrale avrebbe provveduto a stabilire norme e procedure, a dirigere le operazioni di rilevamento cartografico, ad elaborare criteri uniformi ed obiettivi di stima dei fondi rustici ed urbani, sottraendo il censimento dei beni immobili all'arbitrarietà di denunce giurate e dalla disomogeneità dell'operato di commissioni locali. Per l'intera operazione fu adottato il sistema metrico decimale.

La città di Pergola: quadro urbanistico

Gran parte dei territori compresi nelle Legazioni (Bologna e le Romagne) e nelle Marche, poi, erano già corredati di mappe e brogliardi descrittivi redatti con l'uso del sistema metrico decimale dal governo dell'ex Regno Italico: l'adozione dello stesso sistema consentiva di acquisire tale materiale senza necessità di complesse rielaborazioni, riducendo in modo significativo l'entità del lavoro da affrontare.

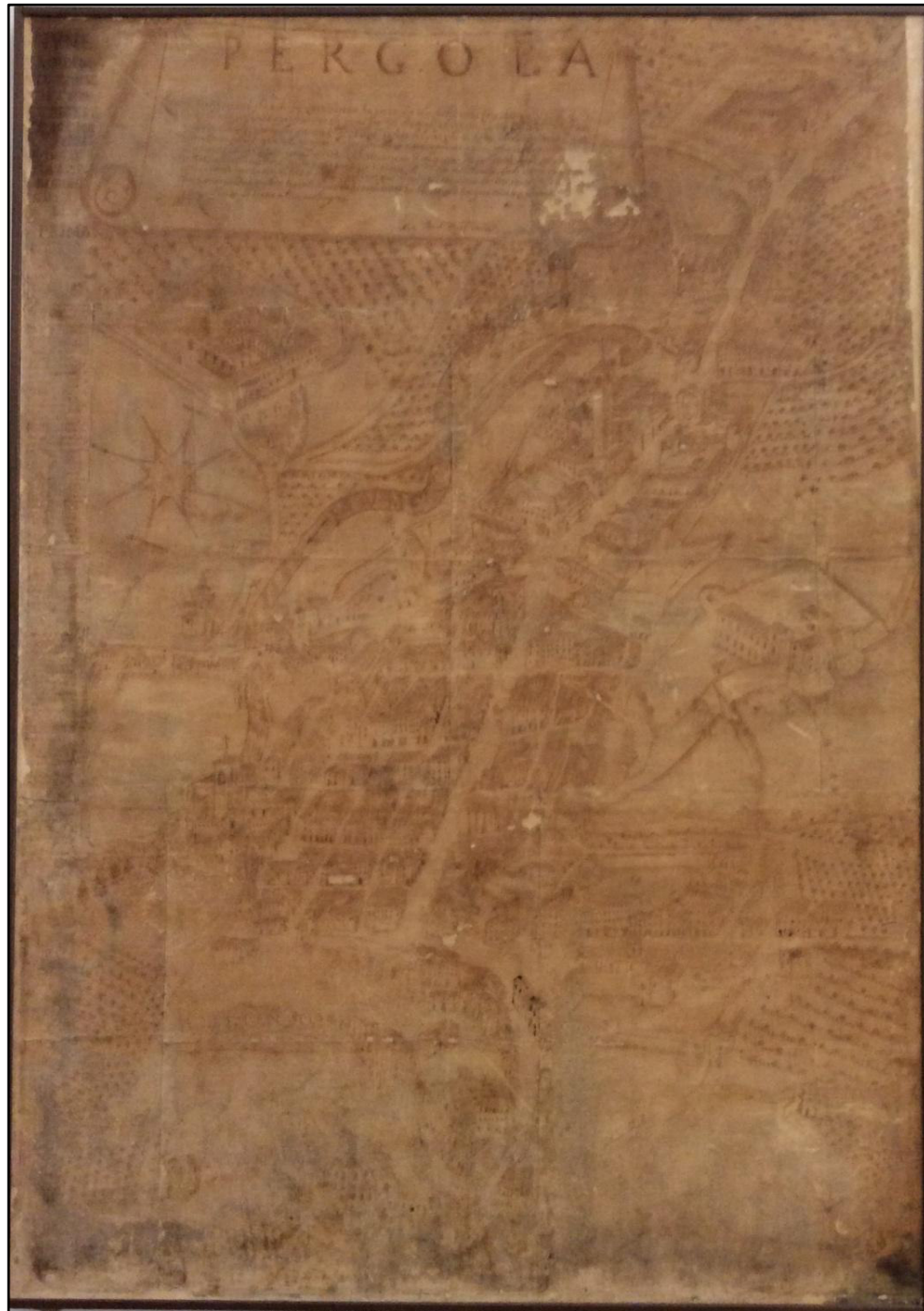


Fig. 9 Pianta di Pergola, XVIII secolo, Museo dei Bronzi Dorati di Pergola

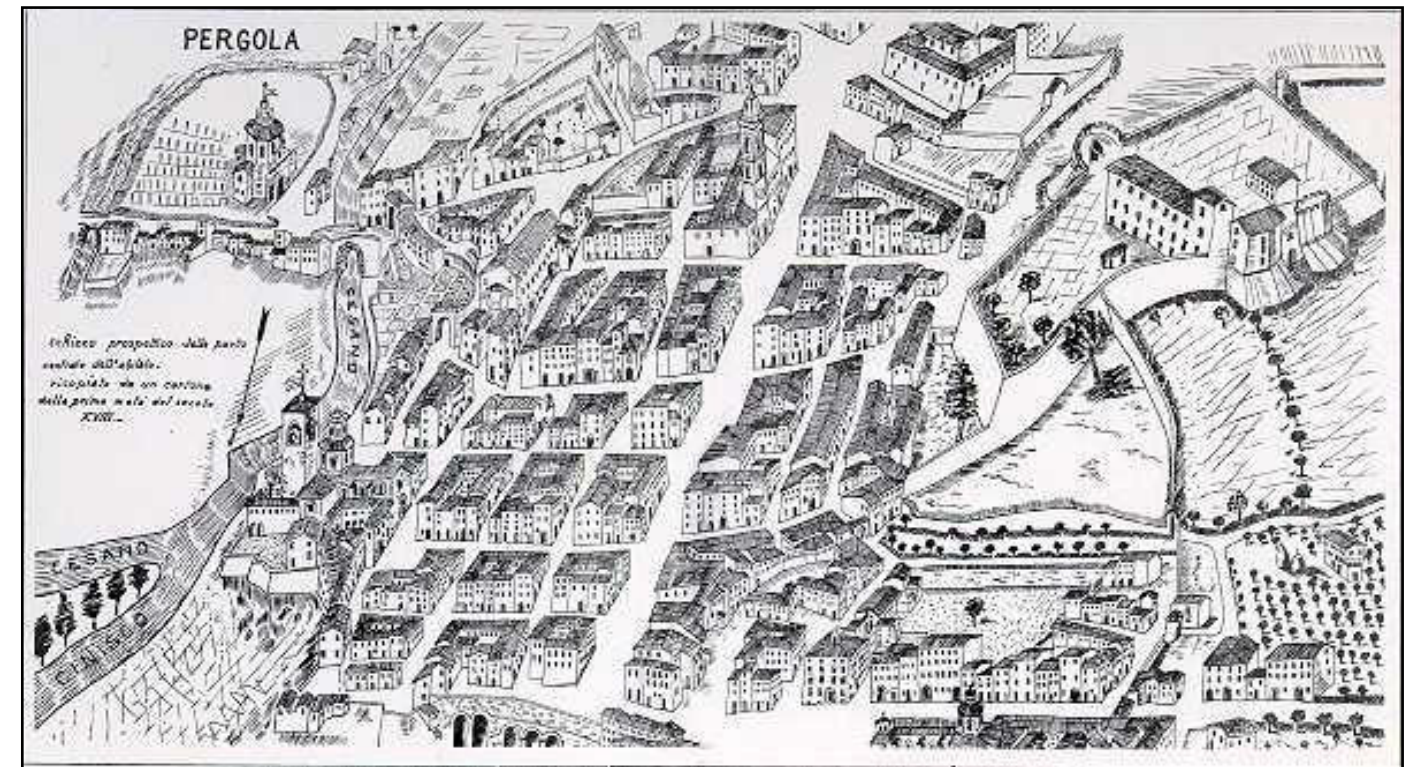


Fig. 10 schizzo prospettico della parte centrale dell'abitato, Sandro Sebastianelli, Archivio Sebastianelli, Pergola



Fig. 11 Catasto Gregoriano, 1818, Archivio vaticano, Roma

La recezione nell'ordinamento catastale pontificio della catastazione già realizzata dall'ex Regno Italico rese in ogni caso più complessa l'ordinamento del materiale prodotto, che di fatto risulta dal sovrapporsi di più criteri di ordinamento e suddivisione territoriale, stratificatisi nel tempo. Anche il regolamento sulla misura di terreni e formazione delle mappe è naturalmente tributario dell'esperienza maturata nell'ex Regno d'Italia. Minuzioso

La città di Pergola: quadro urbanistico

del lavoro, definisce gli strumenti da utilizzarsi, le procedure per verificarne la costante affidabilità, le modalità di rilevazione, i segni ed i colori da usare e la terminologia da adottare nella descrizione delle particelle. Ciascuna mappa, orientata verso il nord, deve comprendere un solo territorio comunale e, nel caso di comuni molto estesi, il territorio deve essere prima suddiviso in diverse sezioni, che sono oggetto di distinte mappe ed assumono la denominazione del toponimo più rilevante in esse compreso. Per l'esecuzione del lavoro si decise di ricorrere allo strumento dell'appalto che garantiva certezza di costi e celerità di realizzazione: la correttezza dei risultati sarebbe stata garantita dalla direzione

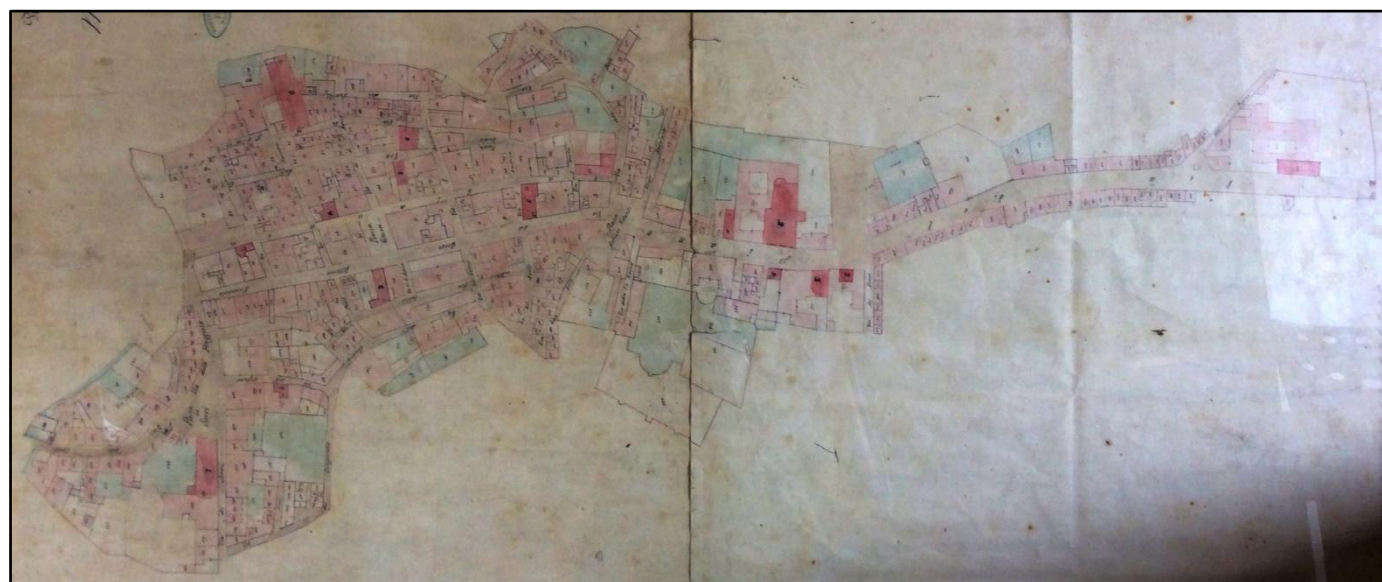


Fig. 12 Rilievo del perito Silvio Tardioli, 1877, Archivio Storico Comunale di Pergola

centralizzata dei lavori, dall'operato di verificatori nominati dalla Presidenza del Censo e dall'intervento in loco di assistenti dei Comuni. I lavori di rilevazione cartografica si conclusero nel 1821 ma la complessità delle operazioni di stima allungarono i tempi per l'attivazione del catasto, che avvenne solo nel 1835, con l'adozione di un estimo provvisorio. Le mappe, alla scala 1:2000 salvo quelle di centri urbani particolarmente rilevanti o estesi elevate alla scala 1:1000, dovevano essere fornite in due esemplari: un originale, in fogli rettangoli uniti tra loro ed una copia in fogli rettangoli sciolti.

Dovevano poi essere prodotte due ulteriori copie in scala ridotta a 1:4000 o a 1:8000 (le "mappette"), a seconda dell'estensione del territorio rappresentato, corredate della riproduzione in scala originale del "caseggiato" ovvero dei centri abitati, posta in margine o

in allegato. Ogni particella catastale, raffigurata in mappa con il suo perimetro ed identificata da un numero assegnatole all'interno di una progressione numerica unica per ciascuna mappa, veniva poi descritta nel registro catastale o brogliardo, in cui era indicato anche il nominativo di chi la possedeva. I luoghi sacri, le fortezze, i luoghi pubblici o "di sovrana pertinenza" sono indicati con lettere alfabetiche che seguono, nei registri, la descrizione delle particelle numeriche. Le mappe, mappette e brogliardi conservati presso l'Archivio di Stato di Roma provengono quindi dall'archivio della Presidenza del Censo mentre quelli conservati presso molti altri Archivi di Stato provengono dagli archivi delle

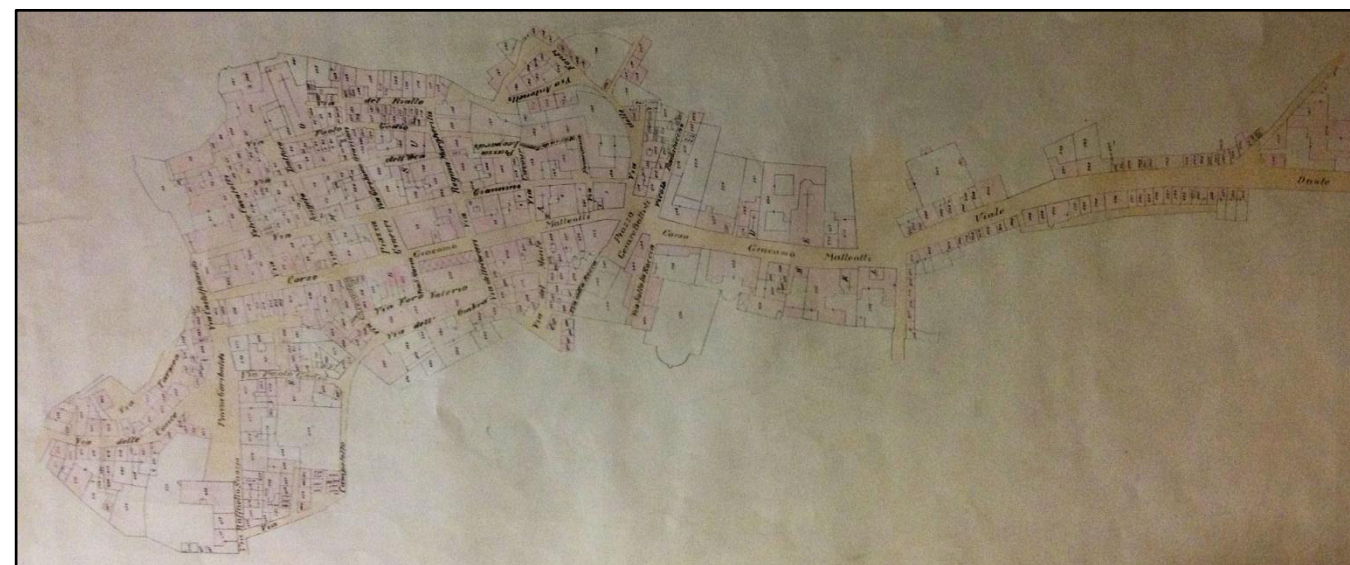


Fig. 13 Mappa urbana di Pergola aggiornata fino al 1957, Archivio di Stato di Pesaro

rispettive Cancellerie del Censo. Molto chiaro è il rilievo ad opera del perito Silvio Tardioli datato 1877 (Fig. 12). Questa planimetria è la versione corretta ed aggiornata di quella del catasto Gregoriano.

Mappa urbana di Pergola aggiornata fino al 1957 (Fig. 13).

Mappa urbana aggiornata fino al 1967 (Fig. 14).

Catasto moderno (Fig. 15).

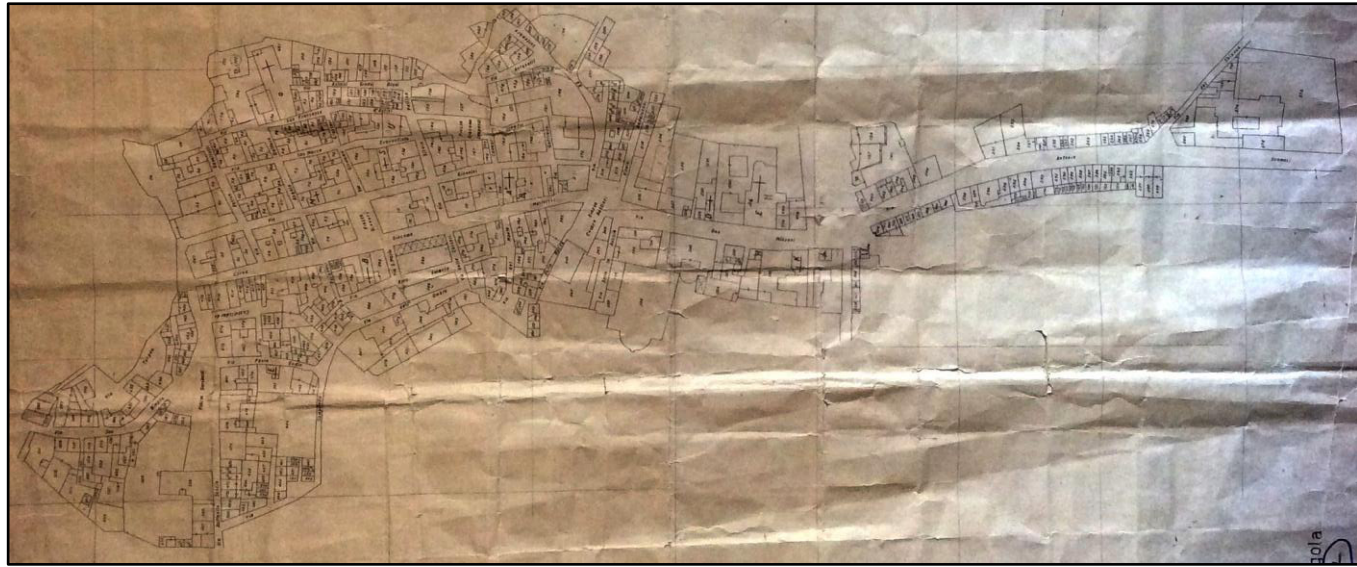


Fig. 14 Mappa urbana di Pergola, 1967, Archivio Storico Comunale di Pergola



Fig. 15 Catasto odierno, 2014, Agenzia del Territorio di Pesaro.

2.3.2 Insediamenti urbani e tipologie edilizie medievali

Al fine di comprendere in maniera esaustiva lo sviluppo urbanistico della città di Pergola, che, come detto, venne fondata nel 1234, si rende necessaria una introduzione sulle caratteristiche degli insediamenti urbani medievali.

Quando si cerca di analizzare l'assetto urbanistico di una città di origine medievale, spesso, la difficoltà più grande è quella di capire se si tratta di una formazione urbana "spontanea", di un organismo che cresce in modo naturale, progressivo e graduale, senza pianificazione oppure derivante da un preciso progetto urbano.

Nel caso specifico di Pergola, è perfettamente individuabile un piano urbanistico pensato e studiato appositamente per la città. Questo è avvalorato dal fatto che Pergola, come più volte ricordato, venne fondata da Gubbio con precisi scopi espansionistici e di controllo del territorio.

Fu proprio tra il XII e il XIII secolo, che, dopo le invasioni barbariche, e col diffondersi del benessere generale, si iniziò a fondare nuove città e nuovi centri commerciali. Spesso i nuovi centri urbani sorgevano in corrispondenza dell'incrocio di più vie commerciali, lungo un corso d'acqua o, come nel caso di Pergola, alla confluenza tra due fiumi.

Il perimetro della città era fortificato e di solito la cinta muraria si adattava alla naturale morfologia del territorio e diventava più efficace in corrispondenza dei poli di attrazione; era munita inoltre di porte di accesso, che permettevano una corretta riscossione dei dazi di passaggio da parte dei gabellieri. Svolgeva quindi la duplice funzione di protezione della popolazione e di cinta daziaria.

Questa, inoltre, fungeva da divisione tra centro urbanizzato e aperta campagna, anche se all'interno delle mura erano presenti, soprattutto nei comuni marchigiani, terreni coltivati e orti.

L'espansione del tessuto urbano avveniva dall'interno verso l'esterno, fino ad appoggiarsi sulle mura di cinta, che a quel punto, entravano a far parte integrante delle pareti esterne degli aggregati edilizi di bordo. Le mura, quindi, venivano ricostruite più esternamente, oppure qualora, non si rendessero più necessarie, non venivano ricostruite affatto.

La città di Pergola: quadro urbanistico

L'urbanistica medievale conta otto tipi urbani differenti:

- 1- Sviluppo urbano intorno ad un elemento principale, di importanza nella città, come una chiesa o un castello. Spesso in questo caso esiste un unico asse viario principale che ovviamente culmina nel polo di interesse.
- 2- Sviluppo urbano a “fuso di acropoli”, per cui il centro sorge su una collina delimitata dalla presenza di due fiumi.
- 3- Sviluppo urbano lineare. In questo caso il centro urbano si sviluppa lungo una direttrice principale che può, per motivi di espansione del tessuto urbano, ripetersi parallelamente a se stessa.
- 4- Sviluppo urbano a “duplicazione”, per cui si vengono ad avere una terra nuova e una terra vecchia, indipendenti tra di loro.
- 5- Sviluppo urbano generato da due direttrici principali, perpendicolari tra loro, accompagnate da vie secondarie, di dimensioni minori.
- 6- Sviluppo urbano a “scacchiera”, evoluzione del precedente, in cui le vie hanno pressappoco tutte la stessa dimensione e importanza.
- 7- Sviluppo urbano a “lisca di pesce” (diffuso soprattutto in Francia).
- 8- Sviluppo urbano “radiocentrico”

Nel caso specifico, Pergola non ricade in una precisa categoria, ma vi si possono individuare caratteristiche appartenenti a quella a “scacchiera” e a quella a “fuso di acropoli”.

Nel tessuto urbano si disponeva l'edilizia privata, che dal 1200, divenne un polo produttivo rivolto verso l'esterno. Le case, che erano addossate le une alle altre e si disponevano intorno ai palazzi pubblici o alle dimore dei signori, erano costruite in modo da soddisfare le esigenze del tempo: al piano terra si trovava, quindi, la bottega con i locali adibiti al lavoro, al primo piano vi erano una stanza che fungeva allo stesso tempo da camera matrimoniale e soggiorno, e le camere dei figli. Se vi era anche un secondo piano vi venivano spostati il soggiorno e la cucina, in modo da garantire uno sfogo diretto al fumo. Si ricorda infatti che la tecnica costruttiva dell'epoca prevedeva l'utilizzo del legno sia per

i solai che per gli elementi di connessione verticale, quindi, evitare il contatto di tali strutture con le fonti di calore era buona norma.

Questo è il caso della tipologia a schiera, con lotti longitudinali, appartenente ai ceti meno ricchi, e quindi, come accennato, articolata su due livelli e formata da tre elementi principali: al piano superiore l'abitazione ed a quello inferiore la bottega, rivolte verso la via principale, e un piccolo appezzamento di terreno da coltivare, sul retro.

Spesso erano il risultato di autocostruzione, rispondendo così ad esigenze di economicità e rapidità di realizzazione. Il muro laterale era comune a due abitazioni e la larghezza media era di circa 5 metri, dovuta alla lunghezza delle travi di solaio.

L'altra tipologia edilizia, tipica del periodo medievale, è la casa-torre. Essa era realizzata in uno spazio assai ridotto, cosa che non permetteva di giocare sulla distribuzione degli spazi interni; si trovavano, infatti, al piano terra la bottega e ai piani superiori, collegati da piccole scale in legno, le stanze adibite ad abitazione, costituite da uno o pochi locali.

La tipologia a torre fortificata, invece, costituiva la residenza delle famiglie del patriziato nobiliare e simboleggiava la famiglia stessa, tanto che quando questa veniva bandita dalla città la torre veniva abbattuta. Le famiglie nobili, inoltre, spaventate dalla possibilità che le concorrenti potessero impadronirsi del titolo di famiglia più potente del comune, tendevano ad elevare le proprie torri in maniera incontrollata, tanto che si resero necessarie delle norme che impedissero di erigere torri di altezze superiori alle torri civiche.

Raramente la torre era costruita isolatamente; di solito, infatti, faceva parte di un più vasto complesso edilizio che apparteneva ad un clan familiare. La sua funzione abitativa, quindi, era pressoché nulla.

Le famiglie più facoltose, però, potevano costruire, all'interno del tessuto urbano, residenze di dimensioni notevoli, appartenenti alla tipologia a corte: un corpo di fabbrica era compreso tra la strada e la corte interna, sui lati della quale erano posti altri elementi edilizi. Alla corte si accedeva attraverso un grande atrio che conduceva ad un porticato attrezzato per la vita all'aperto, e nel quale si inseriva la scalinata di accesso al piano superiore.

2.3.3 Forma Urbis di Pergola

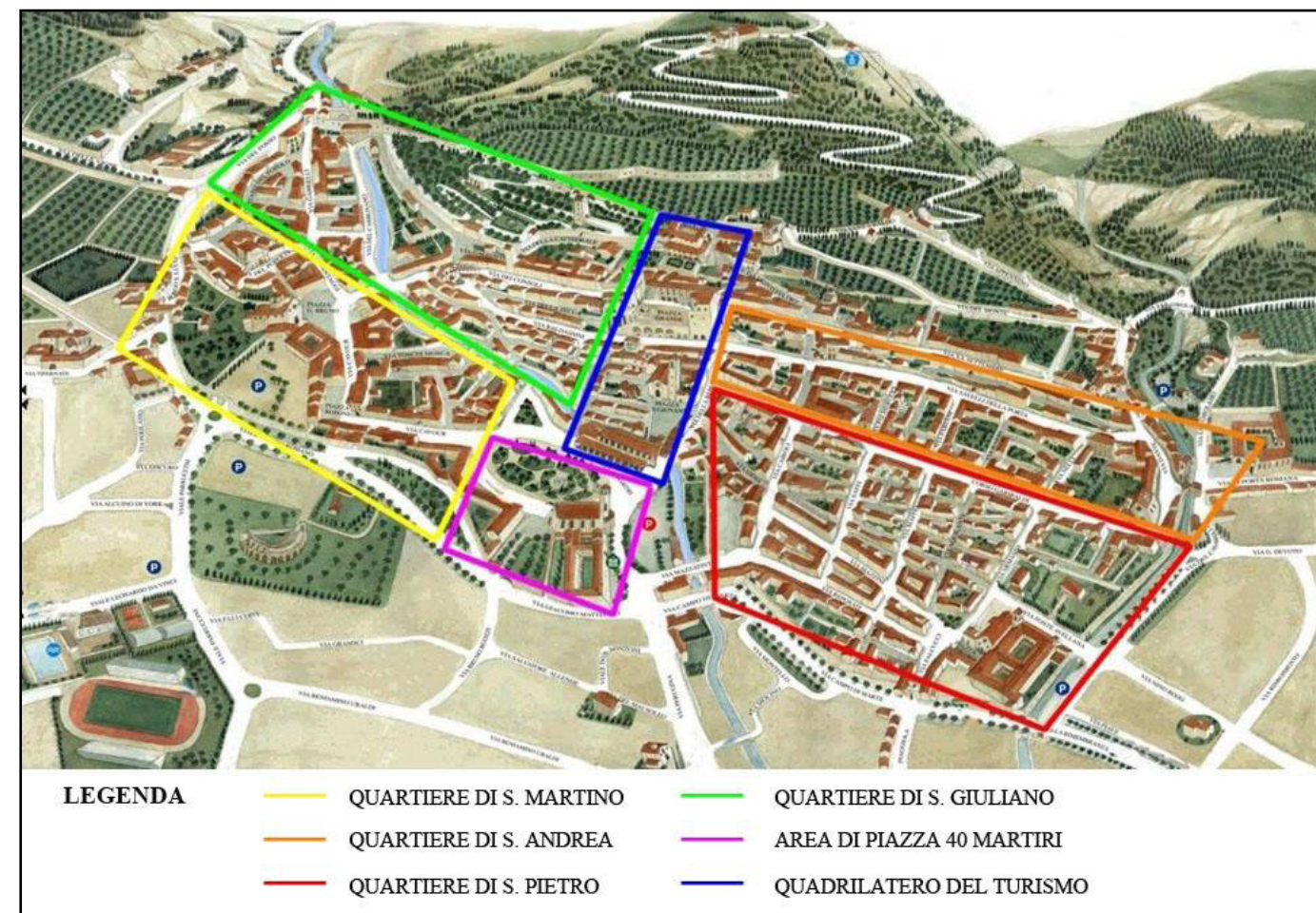
2.3.3.1 Quartiere di San Pietro a Gubbio: un modello per Pergola

In assenza di informazioni e fonti sicure sullo sviluppo del nucleo originale del tessuto urbanistico che oggi costituisce il centro storico di Pergola, si rende necessario promuovere delle ipotesi derivanti dall'analisi dello stato di fatto e delle fonti descrittive storiche. Un altro strumento di analisi importante è il confronto con altri centri marchigiani sviluppatasi in epoca medievale.

Questo è il tipo di lavoro di ricerca che è stato condotto dai fratelli Albonico nella tesi di laurea "Castrum Collis Pergulae".

Essi, attraverso l'analisi e il confronto del centro storico di Pergola con il quartiere S. Pietro di Gubbio, hanno individuato delle similitudini che risultano difficili da trascurare.

Alla base di questa ipotesi il fatto che la forma di espansione territoriale che assunse Gubbio nei primi decenni del XII secolo fu la "colonizzazione", intendendo con questo



Individuazione dei quartieri principali del comune di Gubbio

termine, il trapianto di parte della cittadinanza eugubina nei nuovi insediamenti del contado.

Nel 1234 Gubbio fondò la città di Pergola che fu il luogo della sua massima espansione storica sul territorio. Sempre di questi anni è il completamento dell'ultimo quartiere centrale della città, quello di S. Pietro. L'impianto regolare e simmetrico di questo quartiere denuncia di un certo intervento "voluto"; cioè un intervento pianificato. Si trattava dell'elaborazione e della diffusione su scala territoriale di un modello urbano che all'interno della città garantiva la sua espansione in modo regolare e controllabile e sul territorio un rapporto più stretto fra la madre patria e le sue colonie. Per questo motivo sembra possibile ci fosse una forma di rapporto fra il quartiere di S. Pietro e l'impianto urbanistico, che è altrettanto regolare e ripetitivo, nella città di Pergola. Come la nuova città anche il quartiere fu costruito in poco tempo a seguito dell'incremento demografico che Gubbio dovette subire in quegli anni.

L'intero quartiere di S. Pietro, risulta controllato da un sistema di coordinate quasi ortogonale (un asse differisce di 8,5 gradi) il cui sottomultiplo modulare è costituito da un parallelepipedo di circa tre metri per lato (2,943 metri = 1 canna eugubina) fissando una modularità dell'impianto urbano che si ripeterà con l'edificazione della città di Pergola.¹

Se si utilizza le unità di misura eugubina dell'epoca, la canna, è facile individuare il fatto che l'intero centro storico di Pergola risulta essere pressoché delle stesse dimensioni del quartiere di Gubbio e che entrambi sono caratterizzati da isolati di forma regolare per lo più rettangolare, le strade si intersecano ortogonalmente e presentano la stessa modularità.

Il quartiere di S. Pietro fu l'ultimo in ordine cronologico ad essere completato nella città di Gubbio, e da esso dipendeva il contado in cui era situata Pergola.

Alla luce di questa analisi, si ritiene fondata l'ipotesi di una stretta connessione urbanistica tra la città di Gubbio e quella di Pergola.

2.3.3.2 Sviluppo urbanistico di Pergola

Purtroppo non ci sono pervenuti documenti importanti del periodo del XIII sec. che possano darci un'idea della struttura e dello sviluppo del nucleo originale della città. Le tradizionali fonti storiche, infatti, si occupano pochissimo delle origini e dell'evoluzione del nucleo urbano che costituisce il centro storico di Pergola. Ciò è dovuto in parte alla mancanza di documenti ed in parte alla scarsa importanza che veniva attribuita alla storia urbanistica. Nonostante la documentazione visiva non sia molto abbondante e spesso poco attendibile, le testimonianze architettoniche sopravvissute ai secoli costituiscono un documento di impareggiabile importanza per la comprensione e la lettura del tessuto urbano della città.

Si ricordi che il nome originario della città di Pergola era *Castrum Collis Pergulae*.

In epoca medievale alla parola *Castrum* si potevano attribuire molti significati; essa, infatti, poteva indicare una rocca, oppure un fortilizio, un semplice rifugio nei momenti di



Veduta aerea del centro storico di Pergola con il quartiere San Francesco in primo piano

pericolo, un insieme di abitazioni, oppure un borgo circondato da mura. Si può dire, data la storia della sua fondazione, che Pergola racchiuda in se tutti i significati attribuiti alla parola *Castrum*:

- 1- *Rocca* in quanto, fin dal principio della sua fondazione, si parla di un forte protetto da mura e torrioni di avvistamento;
- 2- *Rifugio* in quanto, come raccontano le fonti storiche, oltre che come ultimo avamposto marchigiano della città di Gubbio, Pergola nasce anche come rifugio per le famiglie che si opponevano all'egemonia dei castelli limitrofi;
- 3- *Borgo circondato da mura* in quanto si ha testimonianza di fossati, steccati in legno e mura di protezione, sin dalla fondazione della città.

Il toponimo si compone anche della parola *Collis*. La ragione dietro a tale attribuzione è, ovviamente, il fatto che Pergola nasce ai piedi di una piccola altura delimitata naturalmente da due fiumi, Cinisco e Cesano, che vanno a confluire l'uno nell'altro al margine nord-est della città.

Questo rendeva il territorio di Pergola molto propizio per la fondazione di un nuovo nucleo urbano, che doveva diventare il principale centro commerciale lungo la via che da Sassoferrato portava al mare. Oltre a questa via, infatti, a Pergola confluivano, come ancora oggi, anche le strade provenienti da Cagli e Fossombrone; questa ragione rese di fatto Pergola una potenza economica di spicco nell'entroterra della marca nordica, tanto da attirare, fin dal periodo in cui il Castro era solo un progetto ambizioso sulla carta, le ire e l'opposizione del popolo di Cagli, che vedeva nella sua fondazione una seria minaccia per i propri commerci.

Cagli, infatti, fino a quel momento, era l'unico polo commerciale di rilievo a nord delle Marche, e l'unico di collegamento tra l'Umbria e il mar Adriatico.

La polemica sulle ragioni e sulle caratteristiche della fondazione della città, è accesa tra gli storici. La teoria più accreditata, e in linea con i documenti rinvenuti nel corso dei secoli, è quella di una fondazione ex-novo da parte del popolo eugubino. Per le ragioni spigate precedentemente, infatti, si comprende come la città di Gubbio avesse notevoli ragioni, egemoniche e commerciali, per fondare un nuovo castello proprio in questo territorio.

La città di Pergola: quadro urbanistico

In accordo con la comunità di Serralta,, che cede a Gubbio una notevole quantità di terreni, nel 1234 si inizia la costruzione del nuovo centro urbano.

Nonostante questo, lo storico Giannini, vuole dimostrare che Pergola non è stata fondata ex novo dagli eugubini, ma che è stata semplicemente ampliata dal popolo umbro, collocando le sue origini in tempi ben più lontani. Questa teoria, però, sembra scarsamente documentata, anche se risulta certo che un gruppo di abitazioni era presente anche in un periodo precedente la fondazione del 1234. Queste esigue costruzioni, però, non sono indicate, in alcun documento, come un gruppo coeso tanto da far pensare alla preesistenza di un nucleo abitativo organizzato ed urbanizzato.

Il nucleo che si suppone originario, si sviluppa intorno alla chiesa di Santa Maria di Piazza, già Santa Maria della pergola, che fin dal 1010 apparteneva al monastero di Santa Maria di Sitria, sotto la giurisdizione del vescovo di Gubbio. La strada proveniente da Gubbio, infatti, attraversando gli appennini, passava, e passa tuttora, per il monastero di Fonte Avellana e finisce col diventare proprio la via principale del centro storico di Pergola.

Dalla confluenza, quindi, di culture, commerci e ordini religiosi differenti, viene a delinearsi a Pergola la presenza di tre diocesi principali, alle quali corrisponderanno tre dei quattro originari quartieri centrali del tessuto urbano pergolese.

A monte della suddetta strada si trovava il territorio della diocesi di Gubbio mentre la zona a valle, oltre il fiume Cesano, apparteneva alla diocesi di Nocera Umbra ed era sotto la giurisdizione ecclesiastica dell'abbazia di Nonantola. Vicino al letto del fiume Cinisco, inoltre, oltre il ponte dove viene a trovarsi la chiesa di Santa Maria del ponte ("du Pondu"), presistenza del 1139², era territorio della diocesi di Cagli.

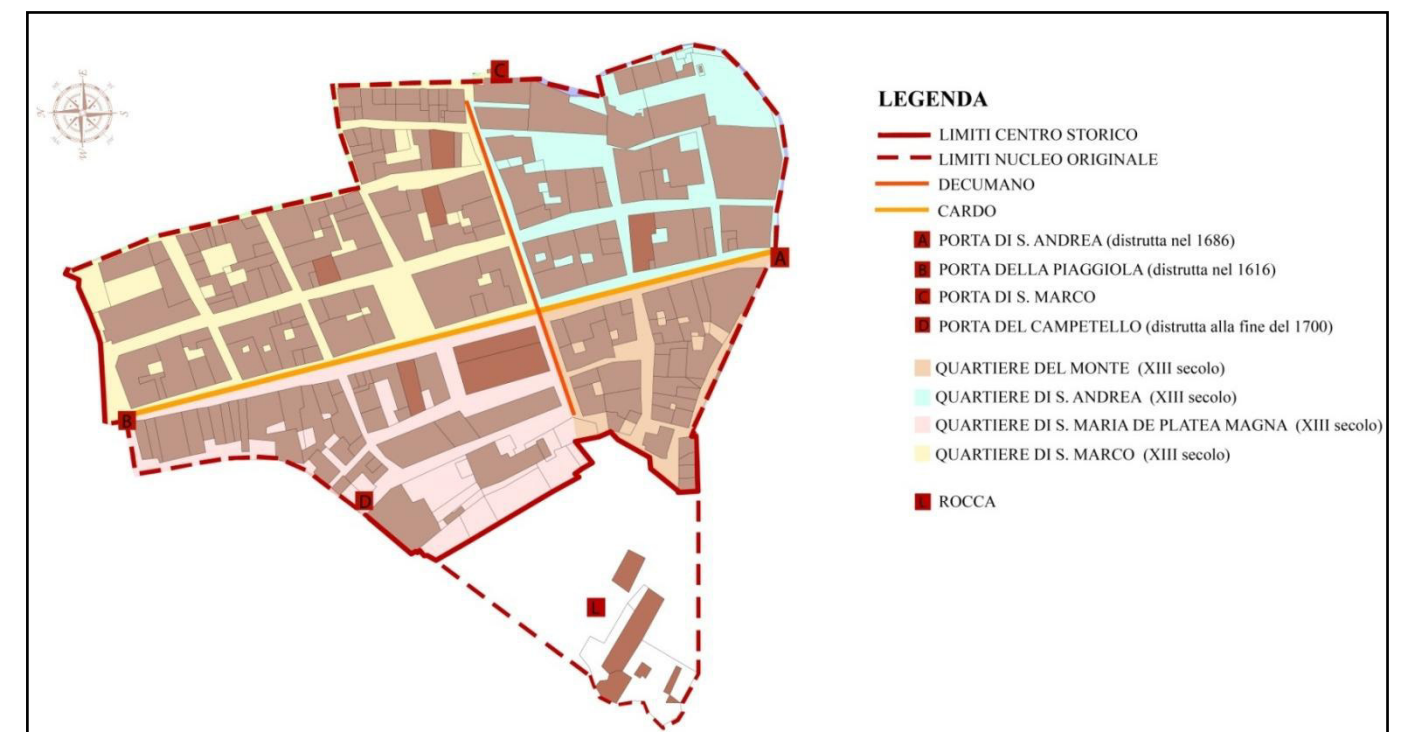
Su questa area di commistione, caratterizzata dalla presenza di diverse amministrazioni religiose, viene ad essere fondata Pergola, secondo lo schema del castrum di nuova fondazione, con cardo e decumano ed isolati pressoché regolari, fatta eccezione per quelli di bordo, che di norma seguono l'andamento delle mura castellane tanto da integrarle spesso nelle pareti portanti della struttura.

La via principale (il cardo), attuale corso Matteotti, nasce con il nome di "Platea Magna" (piazza grande) o "Platea Magna Communis"³, pensando ad essa, fin dalla fondazione del centro, più come una piazza che come una strada.

Effettivamente la strada, che si sviluppava in direzione sud-nord e univa la porta di Sant'Andrea a quella della Piaggiola, risulta di dimensioni notevoli, soprattutto confrontandola con le strette vie che spesso caratterizzano i nuclei urbani medievali. È noto infatti, che nell'urbanistica medievale la percentuale di pieni risulta di molto superiore rispetto alla percentuale di vuoti. La strada doveva, inoltre, sembrare ancora più ampia nel XIII secolo pensando che gli edifici contavano al massimo due piani fuori terra. L'ampiezza, l'andamento rettilineo e la sua superficie pavimentata la rendevano perfetta per il commercio, tanto che su essa affacciavano, con i loro tendoni, tutte le attività commerciali, come fosse un mercato perenne⁴.

I negozi, poi, si alternavano a uffici pubblici, luoghi di culto, alberghi, case nobili; il tutto rendeva la Platea Magna il fulcro dell'attività civile, religiosa ed economica della città.

Si suppone, dunque, che nella struttura originaria della città, non erano presenti piazze di notevoli dimensioni ed importanza, perché la "piazza grande" assolveva a tutte le funzioni associate normalmente alla piazza.



Individuazione del nucleo urbano originale di Pergola, disegno dell'autore

La città di Pergola: quadro urbanistico

Il decumano, invece, è individuabile oggi in via Silvio Pellico, che dalla porta di San Marco continua oltre corso Matteotti in via Trento.

La forma urbis di Pergola, quindi, era così costituita da un quadrilatero non regolare costituito da quattro principali “contrade” o quartieri.

Come accennato, la presenza delle diverse diocesi, ha determinato anche il nome e la divisione delle diverse contrade:

1- *Contrada di San Marco*

Il quartiere si sviluppava ad est del centro urbano, dalla ora via Silvio Pellico, alla porta della Piaggiola. Era chiuso a sud-est da porta San Marco e ad ovest dalla Platea Magna.

Gli edifici vennero costruiti dagli abitanti di Serralta, Ferbole e Valrea, intorno alla chiesa di San Marco, appartenente, fino al 1819, ai monaci benedettini dell'abbazia di San Silvestro di Nonantola. I resti della chiesa romanica vennero occultati dal rifacimento del 1776.

Lo schema urbanistico è perfettamente individuabile e presenta isolati regolari di forma quadrata o rettangolare, in perfetto accordo con la tipologia urbanistica, di matrice espansionistica, promossa dalla città di Gubbio nel XIII secolo, che tendeva a rifondare se stessa sul territorio conquistato. Il metodo utilizzato è definito, infatti, “ad quadratum”, in cui tutte le strade sono parallele ed ortogonali alla principale.

2- *Contrada di Sant' Andrea*

Il quartiere si sviluppava a sud-est e prendeva il nome della omonima chiesa, costruita nel 1247 ad opera dei monaci di Fonte Avellana (diocesi di Gubbio) che già possedevano una residenza accanto alla chiesa stessa. Proprio qui è possibile visitare uno dei pochissimi siti sotterranei aperti al pubblico. È interessante, però, sapere che il centro storico di Pergola ospita una vera e propria città sotterranea, costituita da cunicoli e grotte; la tradizione vuole che nel XIII secolo, queste gallerie fossero tutte collegate, e servissero la Rocca, in modo che, in caso di assedio, il castellano e la sua famiglia potessero mettersi in salvo. Con ogni probabilità, però, queste grotte, vennero costruite solo in seguito alla fondazione della città e venivano utilizzate

come depositi o ghiacciaie per conservare i cibi, come nel caso dell'ex cenobio avellanita nel quartiere di Sant' Andrea. Durante le due guerre poi, quasi tutte le “grotte” di Pergola vennero riempite con ogni tipo di materiale, tanto da diventare per la maggior parte inaccessibili. Oggi, di proprietà perlopiù privata, le grotte sono state riportate alla luce da interventi di natura singola e non pubblica e perciò non visitabili.

L'analisi dello sviluppo urbanistico del quartiere è associata e simile a quella della contrada precedentemente descritta.

3- *Contrada del Monte*

Il quartiere si sviluppava sul pendio orientale del colle con via della Rocca, già via del Monte, per l'accesso alla Rocca. Si estendeva da porta Sant'Andrea all'attuale via Trento.

4- *Contrada di Santa Maria di Platea Magna* (oggi Santa Maria di piazza)

Il quartiere, sviluppato a nord-ovest, si estendeva dall'odierna via Trento alla porta della Piaggiola ed era chiuso ad occidente dalla porta detta del Campetello (o di Sant' Ubaldo, per la presenza della chiesa omonima nelle vicinanze).

La chiesa di Santa Maria di piazza era officiata dai monaci di Sitria, sotto la diocesi di Gubbio.

Come si può notare, la città è divisa dalla Platea Magna non in maniera simmetrica e, anche se la forma urbis obbedisce a quella tipica della città di nuova fondazione, la zona a ridosso del colle della Rocca risulta essere molto più disomogenea rispetto alle due contrade ad est del cardo.

L'intento di munire la città di Pergola di una certa modularità, infatti, non trova riscontro in questa zona del tessuto urbano, in parte, ovviamente, per la naturale morfologia del territorio, e in parte per la scarsa precisione degli strumenti di realizzazione pratica del 1200.

I quattro quartieri originali erano cinti da mura di protezione. Le fonti iconografiche e i documenti consultati permettono di comprendere l'andamento delle mura, che si sviluppavano intorno al centro urbano, e la posizione delle porte di accesso al castello.

La città di Pergola: quadro urbanistico

In epoca medievale era usuale costruire le mura di protezione ad una certa distanza dalle abitazioni; si suppone quindi che i primi isolati costruiti siano quelli centrali e che gli altri siano stati edificati, via via fino a raggiungere le mura, in un secondo momento. Dal momento in cui la cinta muraria non era più necessaria, perché il pericolo di assedio si era ridotto ormai ad un'eventualità improbabile, la fascia di protezione veniva "riempita" e la cinta diventava la base per le mura perimetrali dei nuovi isolati.

In un primo momento le difese di Pergola erano costituite da un semplice steccato in legno e circondate da due serie di fossati. Quando queste risultavano ormai inefficaci venivano sostituite con la cinta in muratura.

Le mura scendevano dalla rocca, verso sud-est, fino a porta Sant'Andrea, demolita nel 1686, e proseguivano lungo la zona chiamata oggi "Birarelle". Qui, sopra le vecchie mura, nel XVII secolo venivano costruiti gli alti speroni che sono tuttora visibili.

Si continuava risalendo verso nord fino a raggiungere porta San Marco, l'unica porta ancora oggi in piedi. *La torre è in pietra di fiume amalgamata con rattoppature in mattoni di diverse epoche. Il volto della porta è a tutto sesto. Sulla facciata rivolta all'interno c'è un'edicola votiva con un affresco rimaneggiato che rappresenta la Vergine seduta con*

Gesù in braccio. Sulla fascia inferiore dell'affresco si legge: Alma quietis matri / caput resurge viator⁵.

Si proseguiva, poi, verso la zona rialto per piegare in seguito verso ovest, e poi di nuovo verso nord fino a raggiungere la porta della Piaggiola⁶, che chiudeva a nord la Platea Magna. La porta venne abbattuta nel 1616. Oggi questa zona delle mura castellane risulta interrotta dall'inserimento di un cavalcavia, di epoca moderna, che deturpa il centro storico e ne fa perdere il fascino medievale.

Da questo punto le mura ripiegavano verso la collina e si ricongiungevano alla rocca.

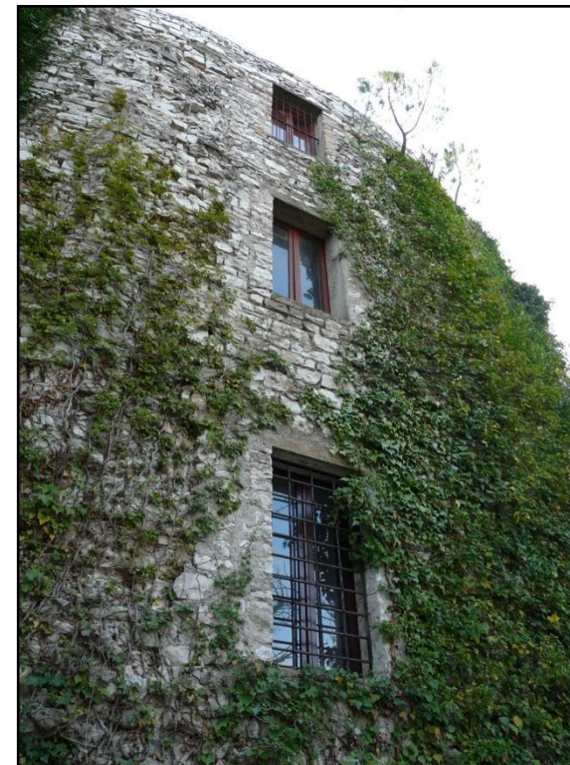
In questo tratto, tra le attuali via 8 settembre e via Paolo Godio, c'era la porta del Campetello, che venne demolita alla fine del 1700.

Il sistema difensivo di Pergola faceva capo alla rocca, presente, a detta degli storici, fin dal XI secolo, anche se inizialmente di dimensioni e importanza ridotte.

Il Vitaletti ipotizza che fin dal secolo XI si possa parlare di una torre ivi esistente. Il primo dato certo, per ora, lo si ricava dagli Statuti Vecchi di Gubbio del 1326, che nella rubrica 33 'Sulla elezione del Podestà di Pergola, del suo salario, e degli altri ufficiali degli infrascritti castelli' ricorda esplicitamente un 'Turri de Monte'. L'identificazione con la



Porta di San Marco vista dall'interno, con l'edicola votiva



Ruderi della rocca, a destra il torrione che un tempo era collegato alle mura castellane

La città di Pergola: quadro urbanistico

rocca è quasi certa.

Dopo che nel 1459 Pergola entrò definitivamente nell'orbita dei Montefeltro, il duca Federico fece ristrutturare la rocca dall'architetto militare Francesco di Giorgio Martini. Puntuale ci giunge la testimonianza di Vespasiano da Bisticci nell'elenco degli ' Edificii fatti per lo illustrissimo signor duca d'Urbino [...]: La rocha de la Pergola, edificio grandissimo, inexpugnabile, et molto bello d'abitazione'. [...]

Dell'intervento progettuale del Martini sono visibili alcune tracce nei torrioni superstiti e nei sotterranei dell'attuale edificio di abitazione, dove un accurato restauro ha conservato i paramenti originali.[...]⁷.

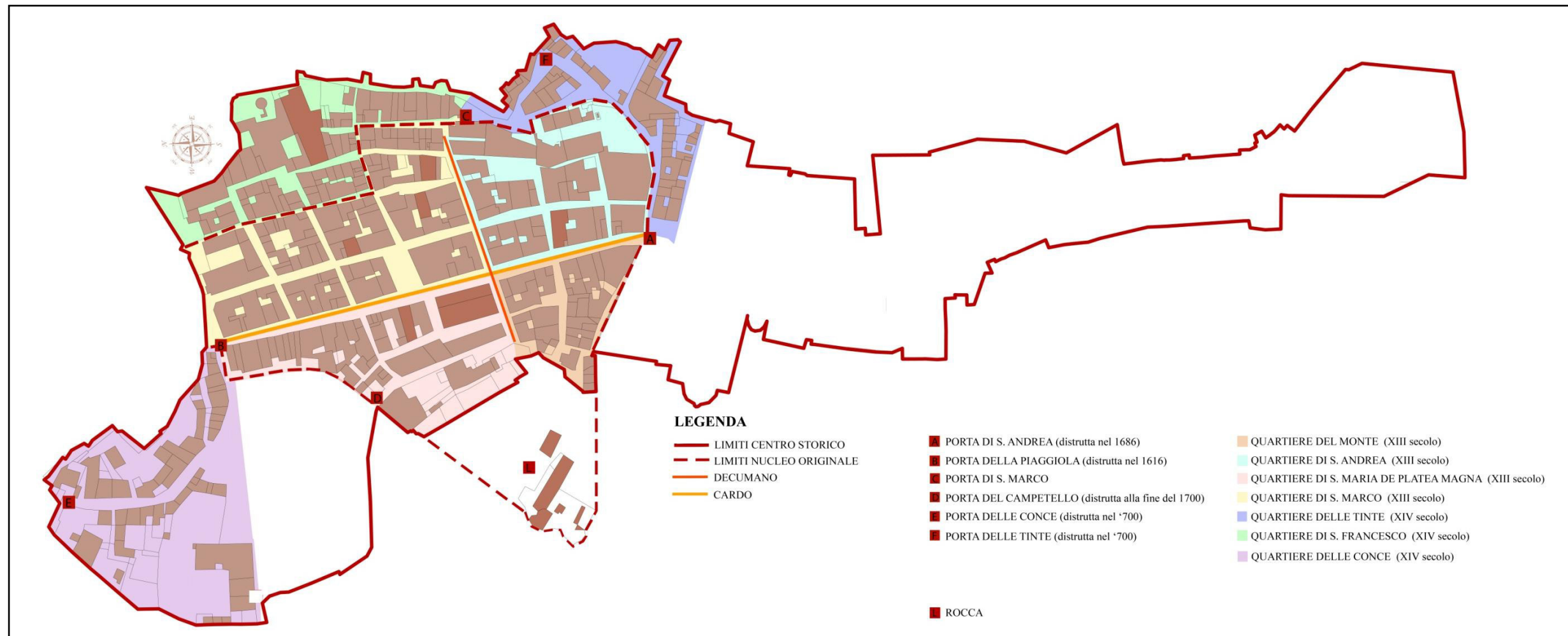
Agli inizi del XV secolo Pergola risultava essere un centro di particolare importanza e questo è testimoniato dal fatto che, proprio in questo periodo, più precisamente alla fine del 1300, il centro passa dal grado di "castrum" a quello di "terra". Motivo per il quale sembra ancora più verosimile il fatto che dovesse essere munito di un castello e buone

fortificazioni.

Nel 1502, in seguito al sanguinoso evento che vide la morte di Giulio Cesare da Varano e i suoi figli per opera del Valentino, al ritorno dei Montefeltro, il duca Guidobaldo ordinò la demolizione della rocca, regalando il materiale di recupero alla comunità di Pergola per restaurare le mura e gli altri edifici pubblici. Purtroppo con questa operazione vennero demolite le parti superiori e centrali della fortezza, cancellando le più interessanti linee architettoniche della costruzione ideata da Francesco di Giorgio Martini. [...]

Il complesso degli edifici e la superficie circostante vennero alienati. [...] gli interventi privati hanno trasformato i pochi resti della primitiva costruzione in una residenza signorile di campagna con un aspetto ottocentesco. Nell'insieme però sono rintracciabili le fondamenta della torre (secolo XI), due torrioni abbassati, la torre di vedetta, la doppia cerchia di mura perimetrali [...]⁸.

Si è accennato al fatto che Pergola nel 1300 passava dallo stato di castrum a quello di terra.



Individuazione dell'ampliamento urbano del XIV secolo della città di Pergola, disegno dell'autore

La città di Pergola: quadro urbanistico

Questo avveniva in concomitanza con il crescente popolamento del territorio e della fiorente economia del paese. La conseguenza più ovvia di questo avvenuto benessere è l'espansione del tessuto urbano; insieme al consolidamento dei quartieri all'interno delle mura castellane, nel XIV secolo, si assiste alla nascita degli isolati appena fuori di esse, e in particolare quelli connessi alle attività economiche più fiorenti del momento, le concerie e le tintorie.

Nascono, così, la borgata delle Tinte e la borgata delle Conce, che, con le loro attività di lavorazione della lana e del cuoio, rendevano Pergola uno dei poli economici più redditizi ed importanti del territorio.

La prima, le "Tinte", si estendeva dalla porta di San Marco fino al punto in cui i fiumi Cesano e Cinisco si incontrano, e nasceva contemporaneamente alla costruzione di due chiese di riferimento per il nuovo borgo: Santa Maria delle Tinte, appena dopo il ponte, e

quella di San Sepolcro. Il borgo si sviluppava su due livelli; una parte era appoggiata al colle, dove veniva lavorata la lana, prendeva il nome di "Birarelle", un'altra, invece, si apriva verso il Cesano, ed era costituita a sua volta da due nuclei uniti da un ponte. Come si deduce dal nome della borgata, quivi si tenevano le attività associate alle operazioni di tintura dei tessuti; nonostante, oggi, tutte le costruzioni siano state trasformate in abitazioni, si possono notare ancora gli elementi dell'antica attività manifatturiera, come ad esempio il vecchio mulino sulla destra del ponte.

La seconda borgata, le "Conce", invece, si estendeva, oltre la porta della Piaggiola fino ad attraversare il fiume Cinisco, ed in essa avevano giurisdizione due diocesi differenti: prima del ponte era la diocesi di Gubbio e dopo il ponte quella di Cagli. Il borgo si era sviluppato intorno alla persistente chiesa di Santa Maria "du Pondu", tanto da far supporre la presenza di alcune costruzioni, che avrebbero ospitato magazzini, officine e mulini, anche prima



Individuazione delle attività commerciali presenti a Pergola fino alla prima metà del 1800, disegno dell'autore

La città di Pergola: quadro urbanistico

della data di fondazione della città di Pergola; tale presenza, però, non è da considerarsi determinante per lo sviluppo del nucleo originario.

Gli aggregati disegnano una linea molto sinuosa, che scende a fondovalle, fino al fiume, dove nascevano gli opifici connessi alle attività di conceria, che si protrassero fino all'Ottocento. All'estremo ovest del borgo, dove oggi si trova piazza Garibaldi, era presente una chiesa nominata di Santa Maria dei Servi. Il loggiato che oggi è parte della facciata della biblioteca comunale, un tempo era tamponato e costituiva il muro portante occidentale della chiesa, che si sviluppava con orientamento est-ovest, con ingresso sul fronte orientale. Questa venne distrutta nel 1883.

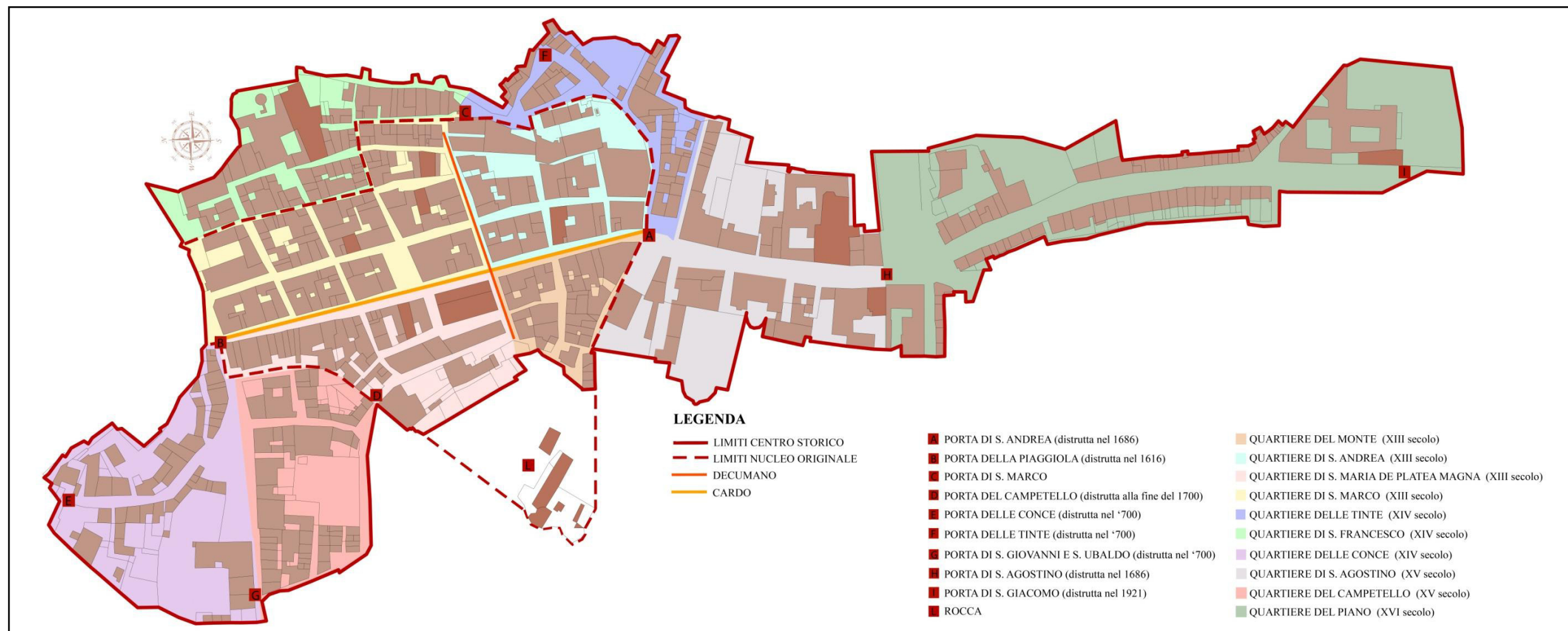
I tintori da una parte, i conciatori dall'altra davano alla città un aspetto tutto particolare e una ricchezza che si manterrà ancora per secoli, come sembra trasmetterci il Reposati, quando all'inizio del Settecento, scrive ancora che “ Questa grossa Terra col lasso del tempo diviene molto popolosa, e molto mercantile, attese le fabbriche de' Cuoj, e delle

*Pannine, che ivi si lavorano, molto accreditata, mediante le quali molte sue Famiglie si sono arricchite, come tutt'ora sono ”*⁹.

Tintorie e concerie non erano le uniche attività che si svolgevano nel centro, vi erano, infatti, attività pubbliche come i macelli, i forni del pan venale, e attività private come le pizzerie, le vaserie, le farmacie, le osterie¹⁰; gli esercizi commerciali erano distribuiti come mostra la mappa a pagina 32.

Oltre ai borghi delle “Tinte” e delle “Conce”, connessi alle attività commerciali, si sviluppava nel XIV secolo anche un'altra borgata, quella di San Francesco. La chiesa e il convento intorno al quale si formava il nuovo nucleo di aggregati, erano stati costruiti tra il 1255 e il 1277, ma vennero consacrati solo nel 1325. Gli isolati qui assumono le caratteristiche tipiche degli aggregati di bordo, che utilizzano le mura castellane come fondamenta per gli elementi portanti delle nuove costruzioni edilizie.

La nuova espansione del tessuto urbano rese necessario, in alcuni punti, lo spostamento



Individuazione dell'ampliamento urbano del XV e del XVI secolo della città di Pergola, disegno dell'autore

La città di Pergola: quadro urbanistico

anche della cinta muraria e l'erezione di nuove porte di accesso alla città. Il "rastello" di San Giovanni, nata all'estremo ovest del centro, andava a sostituire di fatto la porta del Campetello; il "rastello delle Conce, sostituiva invece la porta della Piaggiola; il "rastello" delle Tinte rimpiazzava la porta di San Marco e il "rastello" di Sant'Agostino sostituiva la porta di Sant'Andrea.

Proprio la porta di Sant'Agostino determinava la chiusura del nuovo borgo omonimo, sorto nel XV secolo, intorno alla chiesa, nata invece già nel 1258 e consacrata nel 1325. La porta, distrutta nel 1686, era posizionata proprio nel punto in cui si incontrano ancora oggi le strade provenienti da Cagli, Fabriano e Sassoferrato. Il borgo si sviluppava lungo una via principale, oggi via Don Minzoni, che altro non era che la "naturale" prosecuzione della Platea Magna, dalla quale eredita dimensioni, carattere ed importanza. Vi si trovavano, infatti, edifici pubblici, religiosi, signorili ed esercizi commerciali.

In pratica, fuori dalla porta di Sant'Andrea, verso sud, sui due lati della strada, già dal XV secolo fu tutta una parata di chiese ed edifici religiosi di diversi ordini, uno attaccato all'altro, fino alla nuova porta di Sant'Agostino, che ben presto chiuse di nuovo l'abitato verso sud. Per chi arrivava da questo lato, l'immagine della città era dunque dominata da una quinta teatrale fatta di chiese, campanili, oratori; architetture di pietra chiara liscia,



Porta San Giacomo in una fotografia dei primi del '900

*con modesti portici davanti agli ingressi, portali incisi, finestrelle allungate, campanili.*¹¹

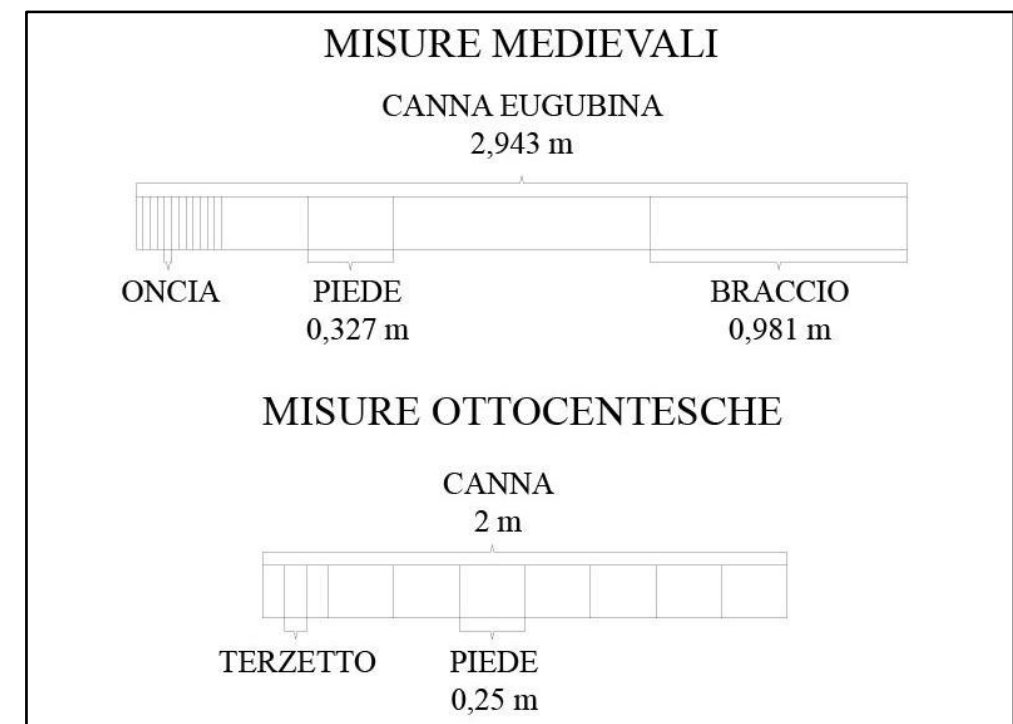
È del XVI secolo, invece, l'ultimo ampliamento del centro storico di Pergola e prende il nome di borgata del "Piano". Veniva costruito, sul prolungamento della strada che porta a Fabriano, e quindi a Gubbio, sulla pianura detta di Chiandida e assumeva la forma allungata, tipica dell'isolato che si sviluppa lungo una unica strada. Il borgo verrà chiuso a sud nel 1743 con la porta di San Giacomo, che prenderà il nome dall'omonima chiesa, sorta alla fine del XIII secolo e che verrà demolita nel 1921.

2.3.3.3 Analisi metrologica e cronologica

La ricerca metrologica nell'analisi della forma urbana di Pergola si è rivelata di notevole importanza per comprendere ancora meglio l'evoluzione dell'assetto urbano e la definizione delle tipologie edilizie.

Nel medioevo a Gubbio, e in tutto il suo territorio, veniva utilizzata, come unità di misura, la *canna eugubina* che misurava 2,943 m di lunghezza. Essa poteva essere divisa in 3 bracci o *passetti di Gubbio* della lunghezza di 0,981 m, che a loro volta potevano suddividersi in 3 *pie di* 0,327 m ognuno. I *pie di*, inoltre, erano formati da 12 *once*.

Nell'Ottocento l'unità di misura adottata era differente e con il nome di *canna di otto*



Unità di misura utilizzate a Gubbio e in tutto il suo territorio nel Medioevo e nell'Ottocento, disegno dell'autore

La città di Pergola: quadro urbanistico

palmi veniva indicata una lunghezza di 2 m e con il nome *palmi di terzetti 3* una lunghezza di 0,25 m.

Per dimostrare la relazione tra la fondazione della città di Pergola e la politica di espansione della città di Gubbio, si è voluto costruire un reticolo, prendendo a riferimento le unità di misura appena descritte, per sovrapporlo al tessuto urbano di Pergola. Il risultato mostra il costante utilizzo di una modularità che si adatta alla *canna eugubina* e ai suoi multipli e sottomultipli.

Analizzando lo schema d'impianto e confrontandolo con gli impianti tipologici di riferimento (impianti tipici del medioevo e impianto del quartiere San Pietro a Gubbio), si possono notare subito delle caratteristiche emergenti:

1. I quattro quartieri centrali (San Marco, Sant'Andrea, Platea Magna e Monte o Rocca) nascono nello stesso periodo (XIII secolo) e unitamente assumono un

impianto abbastanza regolare. Con riferimento alle tipologie urbane tipiche del medioevo; si può affermare che il nucleo originale assume un impianto "ad quadratum", evoluzione dell'impianto "a due direttrici": una la Platea Magna, con le sue $3/4$ *canne* di ampiezza, e inclinata rispetto al nord di 11 gradi, e l'altra, l'odierna via Pellico- Trento, che misura due canne di larghezza.

Qui gli isolati si dividono in due tipi: isolati rettangolari di 13×9 *canne*, e isolati quadrati di 13×13 *canne*.

2. Per quanto riguarda l'evoluzione del XIV secolo e cioè lo sviluppo delle borgate di San Francesco, delle Tinte e delle Conce, dove si è potuto è stato riprodotto il reticolo originale, come ad esempio nella zona a ridosso la chiesa di San Francesco. Negli altri casi invece si tende a seguire la morfologia del terreno che scende naturalmente verso il letto dei due fiumi che cingono il colle. Oltre alla componente



morfologica del territorio, si ricordi anche che questi borghi si sviluppano ai bordi del centro storico, sfuggendo quindi all'impianto a scacchiera che caratterizza gli altri isolati.

3. Nell'evoluzione del XV e XVI secolo, per le borgate di Sant'Agostino e del Campetello, si cambia orientamento. Il reticolo viene ruotato, rispetto all'originale, per adattarsi al nuovo tessuto di espansione. La via principale del borgo di Sant'Agostino, oggi via Don Minzoni, "naturale" proseguo della Platea Magna, misura 4 *canne* nella parte più stretta e 5 *canne* in quella più ampia. Anche la via che determina il tessuto urbano del borgo del Piano, attuale via Antonio Gramsci, misura 5 *canne eugubine*.

Utilizzando lo stesso schema metrologico per l'analisi del quartiere San Pietro a Gubbio, si sono riscontrate varie similitudini nella dimensione e nella forma degli isolati e soprattutto



Analisi metrologica del quartiere San Pietro di Gubbio, disegno dell'autore

nella dimensione delle vie. Anche qui, infatti, le vie principali contano dalle 4 alle 5 *canne* di larghezza mentre le vie secondarie d'impianto ne contano 3.

Nello studio che si vuole svolgere attraverso la redazione di questa tesi, risulta estremamente utile risalire ad una cronologia d'impianto, in quanto permetterebbe di individuare, all'interno del tessuto storico, i nuclei più antichi nei quali si sono evoluti gli aggregati storici che caratterizzano ancora oggi il centro storico di Pergola. Solo attraverso questo tipo di analisi si avrà una completa ed esauriente visione d'insieme che permetterà di individuare le vulnerabilità più problematiche che si possono verificare durante l'evento sismico.

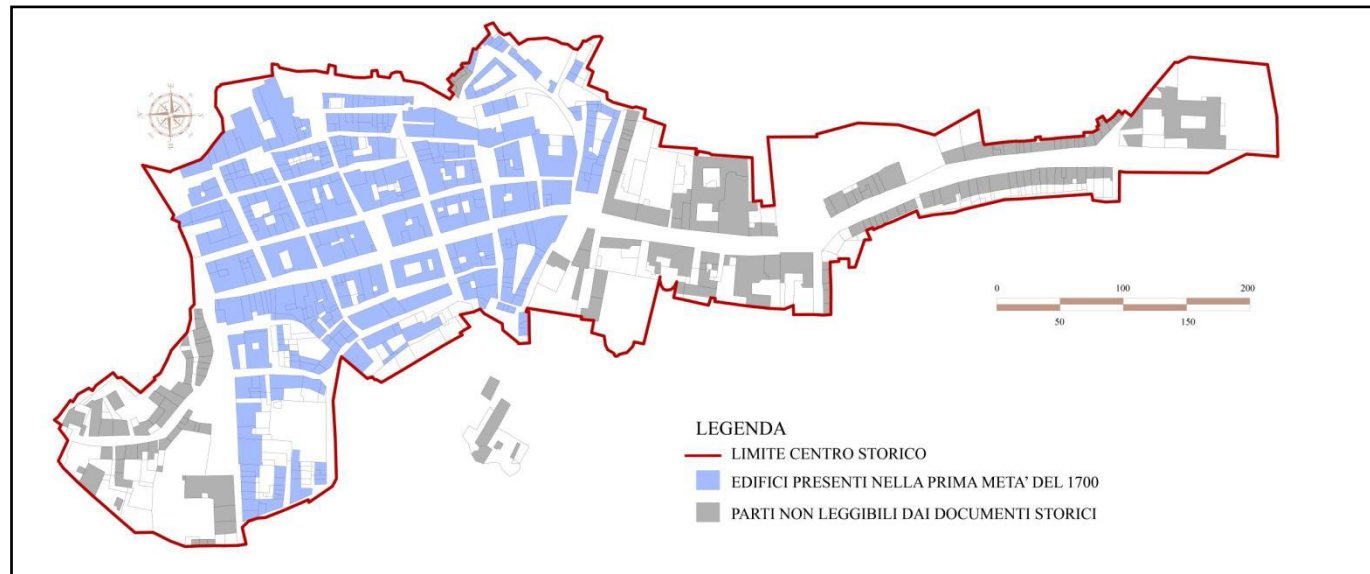
A tal proposito, tramite l'analisi dettagliata delle carte storiche a disposizione, si è voluto mappare il centro storico di Pergola in modo da comprendere l'evoluzione cronologica degli aggregati edilizi urbani. Purtroppo non si hanno notizie di cartografie storiche perfettamente conservate, antecedenti al Catasto Gregoriano (1818), il che ha reso molto difficile l'individuazione del nucleo originale; questa operazione però è stata facilitata dalle iconografiche e dai documenti scritti esistenti, che hanno permesso di individuare il percorso originario della cinta muraria e di conseguenza il nucleo urbano originale, analizzato nei capitoli precedenti.

Per avere un'immagine di Pergola prima della sua nomina a "città" (1752), in mancanza di documenti unitari, si è proceduto alla comparazione della "Pianta di Pergola" (1751), del "disegno in pianta di una parte di Pergola", entrambi ad opera di Giovan Francesco Ferri, e della vista assonometrica copiata dal Coronelli da un documento dell'inizio del 1700.

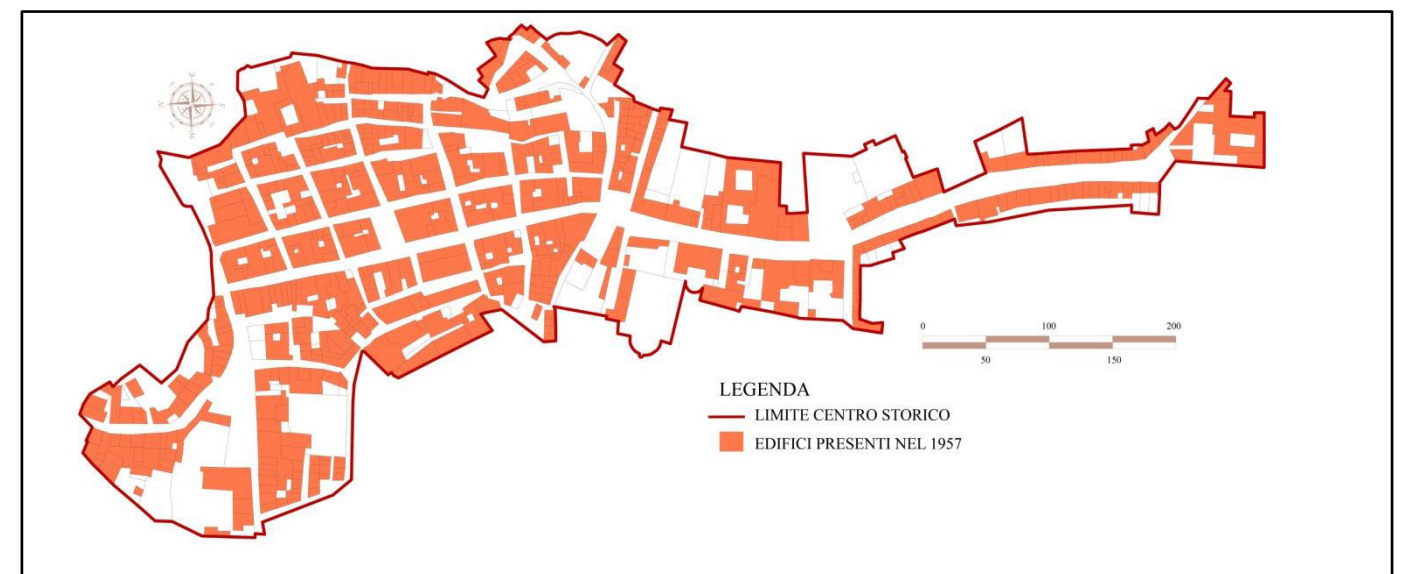
La mappa di Pergola, risultato di questa operazione, unitamente ai documenti ottenuti dalla restituzione in formato digitale delle planimetrie storiche a disposizione, ha permesso la ricostruzione dell'evoluzione del tessuto urbano del centro storico dal 1700 ai giorni nostri. Ove, ad altro parere, l'ipotesi assunta risulti troppo azzardata, viene riportata anche l'evoluzione cronologica risultante dall'analisi delle sole planimetrie catastali.

Attraverso questo lavoro è stato possibile redigere l'abaco di evoluzione dei singoli isolati, riportato nelle tavole in allegato.

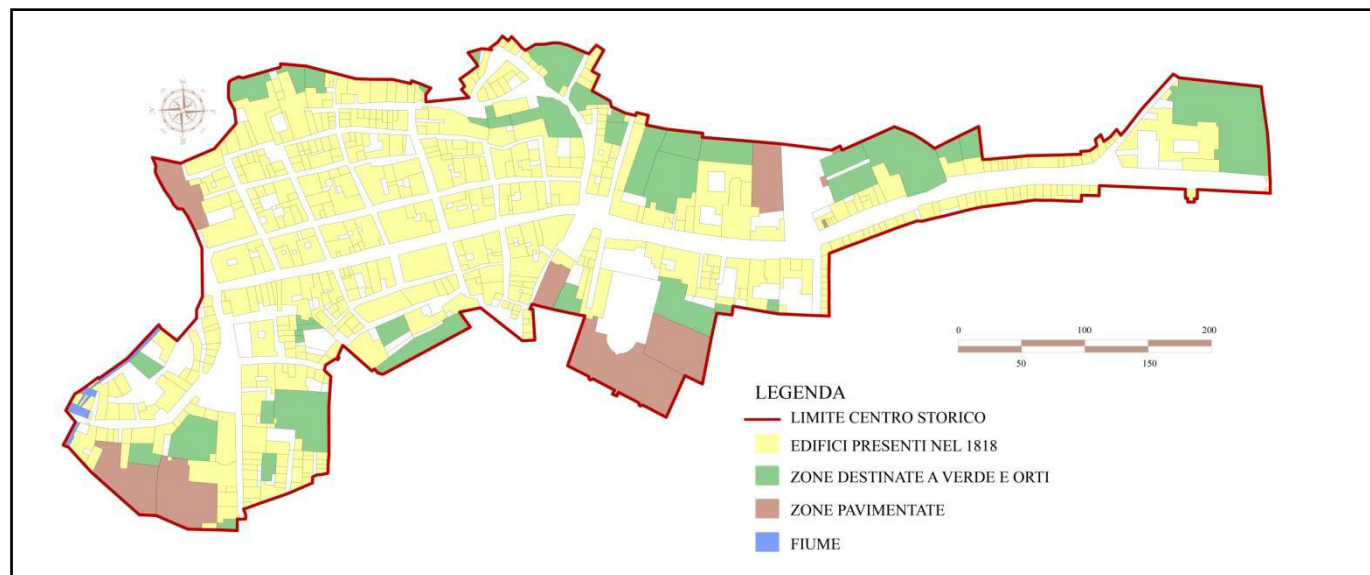
La città di Pergola: quadro urbanistico



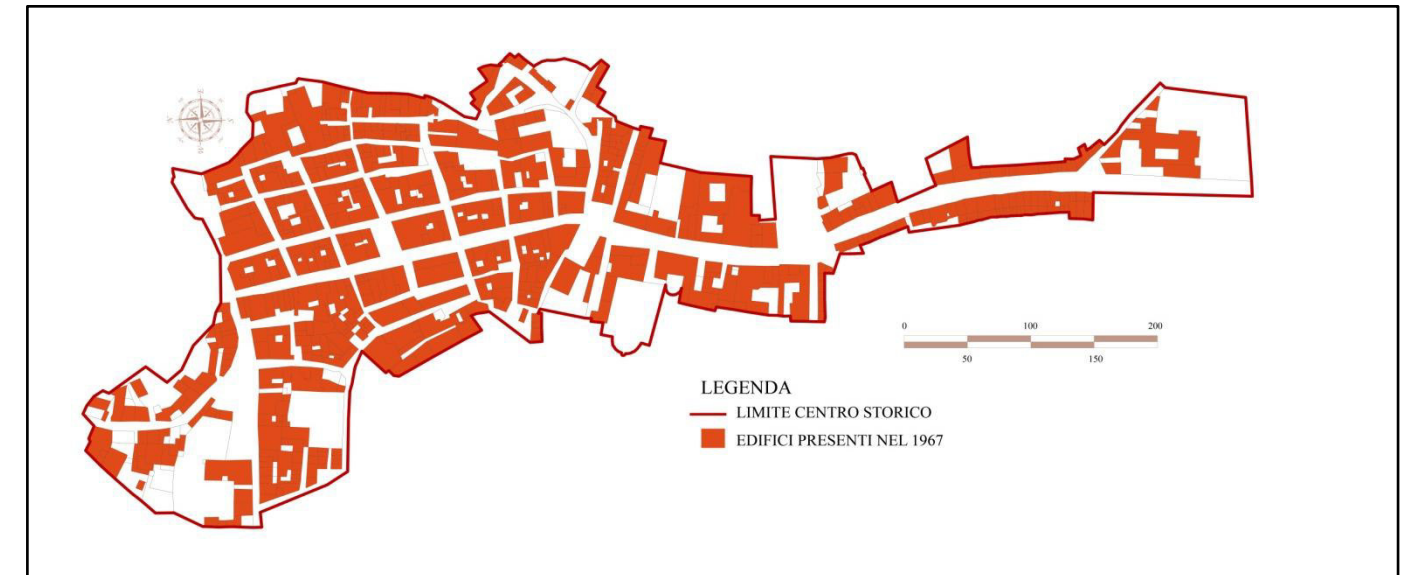
Ipotesi ricostruzione basata sulla mappa del Ferri (1751), disegno dell'autore



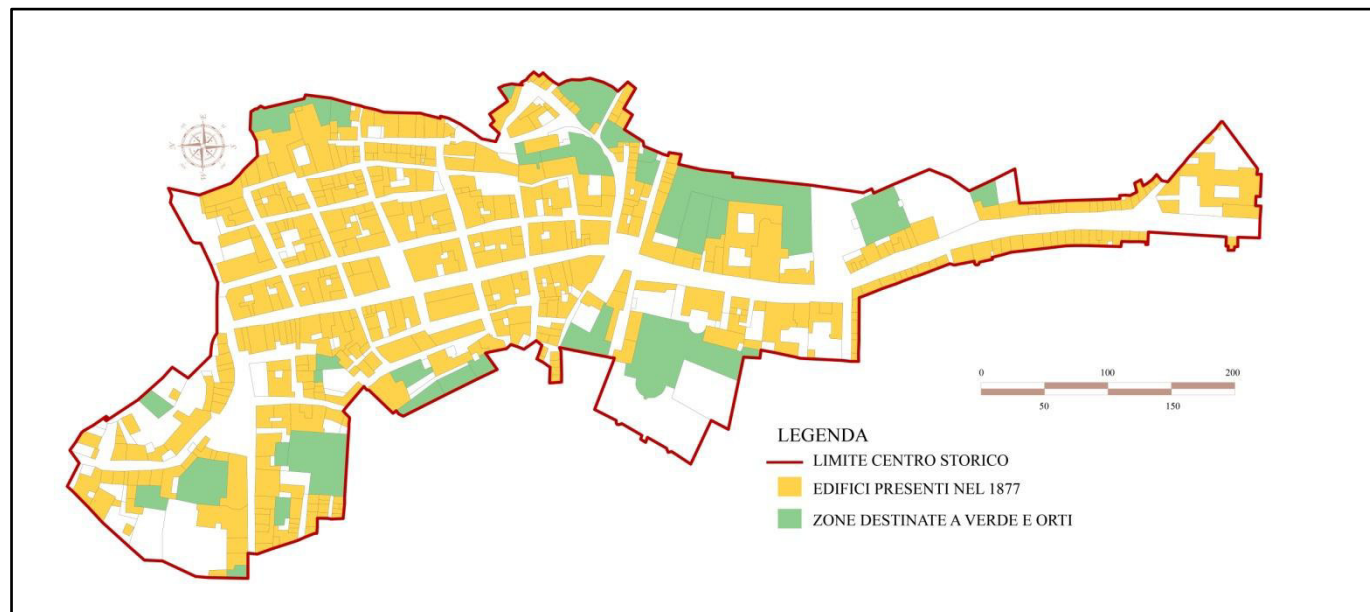
Restituzione in formato digitale della mappa urbana aggiornata al 1957, disegno dell'autore



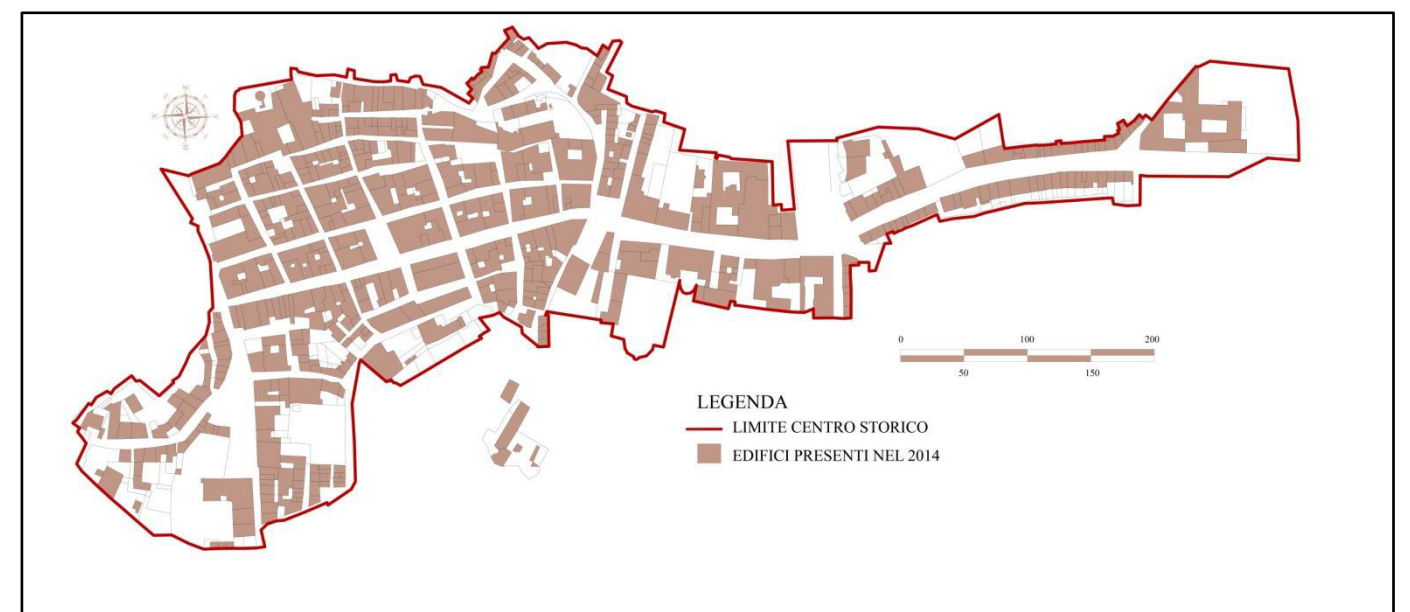
Restituzione in formato digitale della mappa del Catasto Gregoriano del 1818, disegno dell'autore



Restituzione in formato digitale della mappa urbana aggiornata al 1967, disegno dell'autore

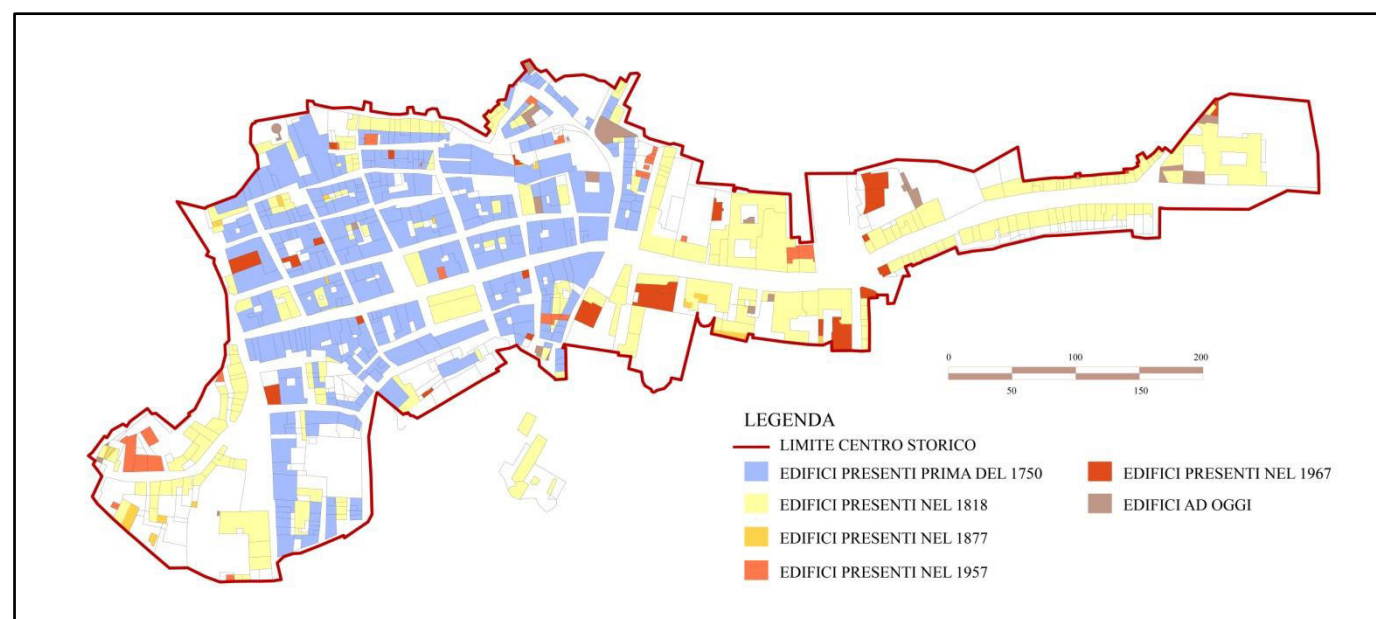


Restituzione in formato digitale del rilievo del perito Silvio Tardioli del 1877, disegno dell'autore

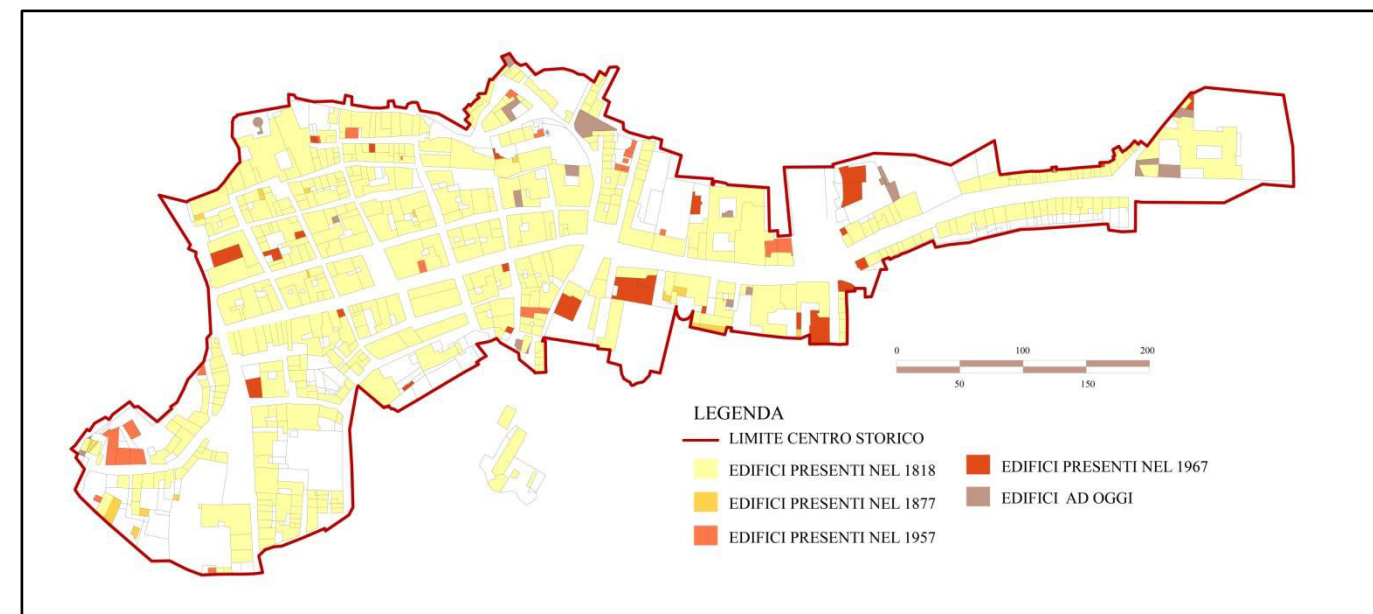


Restituzione in formato digitale della mappa urbana aggiornata al 2014, disegno dell'autore

La città di Pergola: quadro urbanistico



Analisi dell'evoluzione degli aggregati con riferimento all'ipotesi di ricostruzione anteriore al 1750, disegno dell'autore



Analisi dell'evoluzione degli aggregati escludendo l'ipotesi di ricostruzione anteriore al 1750, disegno dell'autore

Note

¹ALBONICO A., ALBONICO A., *Castrum Collis Pergulae, una città di fondazione medievale nelle marche*, A.A. 1994/1995, pp.84

²Carte di Fonte Avellana, doc. 190 del 24 maggio 1139

³Carte di Fonte Avellana, doc. 1065 del 6 agosto 1276

⁴GAUGELLI G., tratto da ZANNONI, 1897, pp.3

”la piazza è tucta coperta de panni,/ et per mostrar ciascuna sua mercantia / omne boctiga vederai aperta.”

⁵CECINI N., *Pergola lettura della città e del territorio*, Pergola 1982, pp.121

⁶BALDELLI M., *Tardogotico e Rinascimento a Pergola*, Pergola 2004, pp.67-68

“Il termine Piaggiola ricorre molto spesso nella vicina Umbria. Per esempio a Gubbio esiste una via della Piaggiola, così come è esistita, fin dal XV secolo, anche una chiesetta detta Santa Maria della Piaggiola, lungo la via per Perugia, fuori porta San Pietro. Anche a Fossato di Vico esiste una chiesa della Piaggiola, del XV secolo, così come a San Dionisio di Valfabbrica. Nell’antico castello di San Pellegrino, nel castello di Gualdo Tadino, esiste una porta, in cima ad una ripida salita, detta anche qui della Piaggiola. Una Piaggiola c’è pure a Costacciaro, unitamente ad un “Piaggia” vecchia e una nuova, due strade che dal rivellino vanno verso la campagna. Anche a Umbertide, l’antica Fratta, una zona dell’antica nucleo medievale, diviso in terziari, era detta della Piaggiola; ad essa corrisponde nel XV secolo anche un omonimo ponte. Altre località con questo nome si trovano anche nei dintorni di Perugia e nella vicina Toscana. Tutto questo per dire che molto probabilmente il termine Piaggiola fu importato dall’Umbria con la fondazione della città.”

⁷CECINI N., *Pergola lettura della città e del territorio*, Pergola 1982, pp. 131

⁸CECINI N., *Pergola lettura della città e del territorio*, Pergola 1982, pp.132

⁹BALDELLI M., *Tardogotico e Rinascimento a Pergola*, Pergola 2004, pp.56

¹⁰BALDELLI M., ORADEI A., *Giovan Francesco Ferri di Pergola*, Bologna 1993, pp.9

“L’economia della città attraversa fasi alterne di lenta, ma graduale crescita e di crisi. Così soprattutto l’agricoltura, condotta principalmente a mezzadria e fondata sulla produzione di grano, granturco e vino. La città può comunque contare su alcune istituzioni sorte per assistere e rispondere ai ceti meno abbienti come l’Annona Olearia e Frumentaria, l’Abbondanza a grano e a olio, il Monte Frumentario e il forno del pan venale che assicurano a basso prezzo i prodotti di prima necessità. Il Monte di Pietà cerca invece di alleviare i problemi del disagio economico e dell’usura. Due mercati settimanali e due importanti fiere annuali, che si tengono nella ricorrenza di San Secondo e della festa dei Santi, incrementano il commercio richiamando gli abitanti dei castelli e delle vicine città. Gli esercizi pubblici, come i due forni di pan venale, i macelli, le sei pizzerie, le bettole ed osterie, vengono messi all’incanto annualmente e affidati ai migliori offerenti; in assenza di questi è la comunità ad incaricarsi della gestione.

Il settore dell’artigianato, dopo il periodo di massima espansione tra la dominazione roveresca e quella pontificia con la lavorazione delle pelli, le conce, le tinte, e le arti della , pannina, si trova a dover affrontare, intorno al 1750, una situazione di decadenza con la conseguente chiusura di alcune fabbriche [...].”

¹¹ BALDELLI M., *Tardogotico e Rinascimento a Pergola*, Pergola 2004, pp.58

Bibliografia

SEBASTIANELLI S., 1983, p.364

CECINI N., *Pergola lettura della città e del territorio*, Pergola 1982, pp.34, 46-47, 50-51, 121-132, 154

LORETI L.L., *Pergola il teatro si racconta*, Pesaro 2010, pp.52

BALDELLI M., *Tardogotico e Rinascimento a Pergola*, Pergola 2004, pp.53-81

BALDELLI M., ORADEI A., *Giovan Francesco Ferri di Pergola*, Bologna 1993, pp.78-79

Tesi consultate

STELLA E., *La vulnerabilità degli aggregati storici analizzata a partire dalla caratterizzazione costruttiva: il caso di studio del centro storico di Lanciano*, A.A. 2013/2014

GAROFOLINI L., *Urbanistica e architettura del medioevo nelle Marche. Sedi civili e degli ordini mendicanti tra il 1270 e il 1300*, A.A. 1993/1994

ALBONICO A., ALBONICO A., *Castrum Collis Pergulae, una città di fondazione medievale nelle marche*, A.A. 1994/1995

Manoscritti consultati

ACP, Pergamene, n.5m

Archivio di Stato di Gubbio, Fondo Com., Rif. Reg. 9, c.15v; Menichetti, 1979, p.135

Carte di Fonte Avellana, doc.190, 1065

2.4 Quadro tipologico e costruttivo

Nella definizione dei tipi costruttivi ed edilizi, nelle loro varianti diacroniche e sincroniche, si rende necessario il confronto incrociato tra fonti storiche e ricerche sul campo dello sviluppo urbano. Per la definizione delle tabelle tipologiche, quindi, bisogna tenere conto dei criteri esecutivi e dei principi geometrici, che permettono di comprendere le tecniche costruttive, affinate fino a raggiungere la “regola d’arte”, che caratterizzano ogni specificità locale.

Lo studio di questi aspetti è estremamente importante nell’ottica dell’individuazione delle vulnerabilità sismiche; è quindi fondamentale dedicare un capitolo alle caratteristiche tipologiche e costruttive del comune di Pergola.

2.4.1 Caratteristiche tipologiche

Diminuendo la scala di analisi si passa dal quadro urbanistico, affrontato nel capitolo precedente, a quello edilizio e più precisamente, all’analisi dei tipi edilizi che hanno determinato lo sviluppo del centro storico di Pergola.

Le variazioni tipologiche sono strettamente connesse alle variazioni funzionali che traducono i bisogni della società e cercano di soddisfarli. L’uomo ha da sempre sentito la necessità di costruire un luogo coperto nel quale esercitare la propria vita familiare; questo concetto si traduce, in termini pratici, nella costruzione del tipo elementare monocellulare di dimensioni attorno ai 5 o 6 metri di lato.

In ciascun “pseudo tipo”, per cui si intende aggregazione o specializzazione del tipo base, la cellula elementare mantiene una certa autonomia ed è quasi sempre identificabile, anche negli pseudo tipi più complessi.

Nonostante, come si è più volte ricordato, Pergola nasca come centro di nuova fondazione, ex-novo, nel 1234 ad opera del popolo di Gubbio, ciò non significa che gli insediamenti originari presentassero le stesse caratteristiche e le stesse dimensioni degli attuali. La città storica, infatti, non sorge quasi mai in un’unica fase temporale; anche se supportata da un

progetto unitario, questo viene realizzato in termini pratici in periodi anche molto differenti tra loro, e per questo spesso le tecniche o i materiali utilizzati nello stesso aggregato risultano non omogenei tra di loro.

Anche a Pergola probabilmente, anche se era presente una chiara volontà urbanistica, lo sviluppo degli isolati si basa sulla definizione della cellula elementare che attraverso la sua aggregazione e riproduzione ha dato vita all’assetto urbanistico e tipologico che oggi possiamo osservare.

Il riconoscimento di costanti tecniche compositive e costruttive è il primo passo per l’individuazione delle caratteristiche operative nell’ambito dell’edilizia residenziale.

In accordo con le tecniche medievali, si individua il modulo metrico tipico delle case a schiera che tende a riprodursi in tipi costruttivi costanti. Il centro risulta caratterizzato dalla presenza di moduli a “schiera” abbastanza regolari, individuati dall’unità di misura utilizzata nel XIII secolo nel territorio di Gubbio: il *piede eugubino* che misurava 0,327 m. Esso, attraverso i suoi multipli (*braccio* = 0,981 m e *canna* = 2,943 m), individua la cellula elementare le cui dimensioni variano a seconda dell’ampiezza del lotto e della sua posizione all’interno del tessuto urbano.

La *canna*, quindi, e le sue derivazioni, venivano presi come riferimento per andare a determinare la larghezza dei fronti affacciati sulle vie principali.

Un’analisi sui tipi edilizi pergolesi è già stata condotta dai fratelli Albonico nella tesi di laurea *Castrum Collis Pergulae, una città di fondazione medievale nelle marche*, A.A. 1994/1995. Essi individuano 5 tipi edilizi differenti:

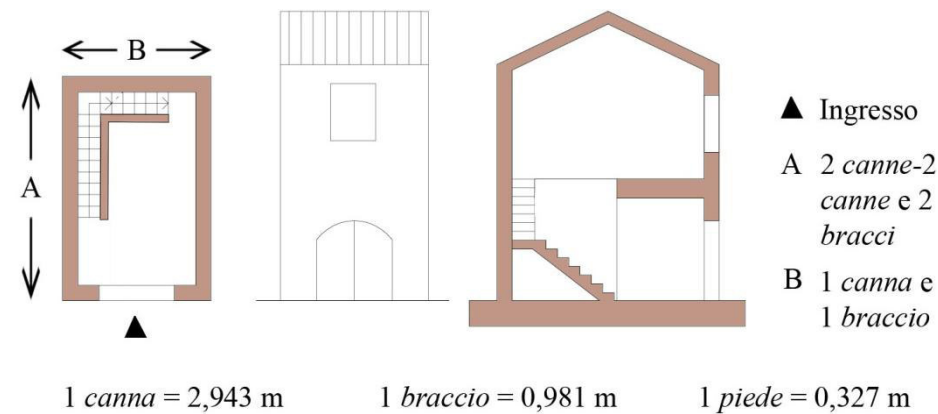
- 1- Tipo edilizio con fronte minimo pari a 13,5 piedi (una canna e mezzo)
- 2- Tipo edilizio con fronte minimo pari a 18 piedi (due canne)
- 3- Tipo edilizio con fronte minimo pari a 22,5 piedi (due canne e mezzo)
- 4- Tipo edilizio con fronte minimo pari a 36 piedi (quattro canne)
- 5- Tipo edilizio con fronte minimo pari a 40,5 piedi (quattro canne e mezzo)

Ci si vuole discostare da questa tesi, assumendo come ipotesi che la “mezza canna” come unità di misura non era contemplata in epoca medievale. Come accennato, infatti la *canna* si componeva di tre *bracci* o 9 *pie di eugubini*.

La città di Pergola: quadro tipologico e costruttivo

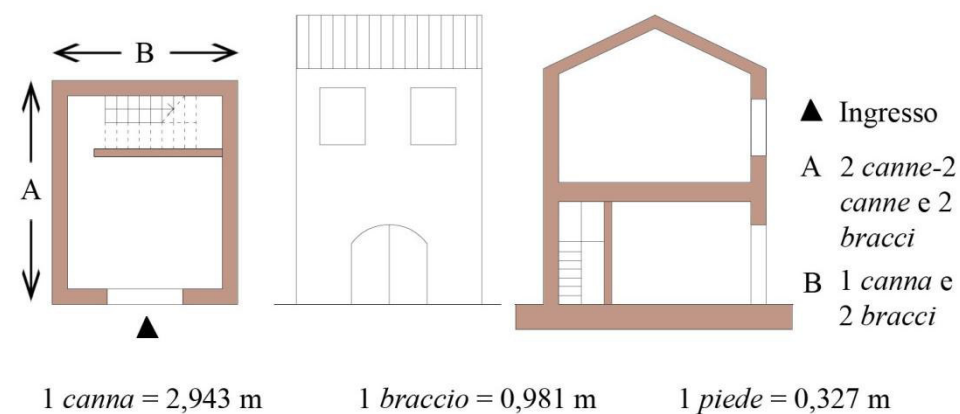
Le varianti sincroniche permettono di individuare 4 tipologie edilizie di base (A):

A1. Tipologia casa-bottega caratterizzata al piano terra dalla presenza della bottega e al primo piano dai locali adibiti ad abitazione. La scala si appoggia a sbalzo sui muri perimetrali.



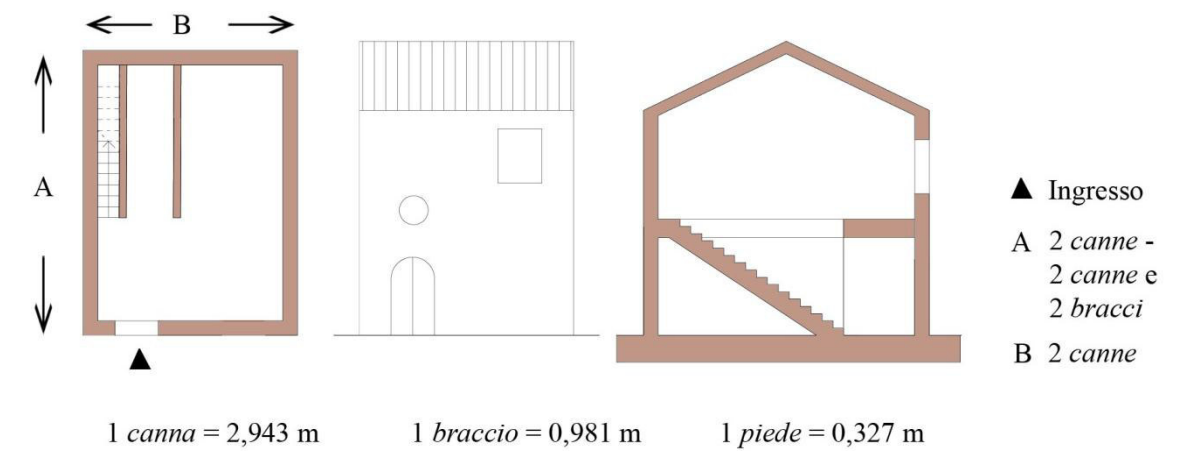
Tipologia A1, disegno dell'autore

A2. Tipologia casa-bottega con le stesse caratteristiche funzionali della precedente. La particolarità di questa categoria è la posizione della scala a due rampe che viene spostata lungo il muro posteriore. Questo fa sì che la larghezza della cellula aumenti.



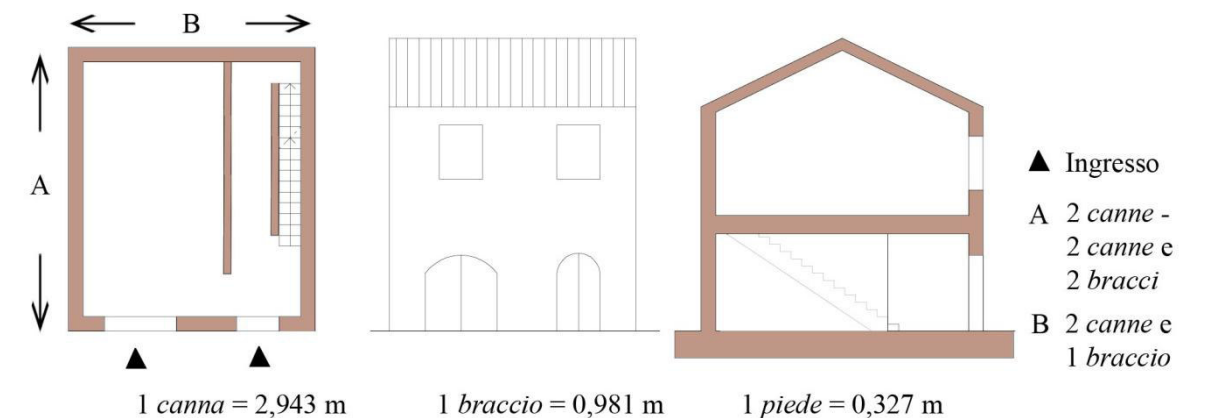
Tipologia A2, disegno dell'autore

A3. Tipologia caratterizzata da due piani ad uso abitativo. La caratteristica è la il vano scala ad un'unica rampa addossata alla parete laterale della cellula. Questo fa aumentare la profondità dell'unità minima di almeno 2 bracci. Al contempo aumenta anche la larghezza che si porta a circa 6 metri.



Tipologia A3, disegno dell'autore

A4. Tipologia casa-bottega. In questo caso la larghezza è tale da permettere l'accesso separato all'abitazione e alla bottega, al contrario delle prime due categorie. Anche qui la scala è addossata alla parete laterale.



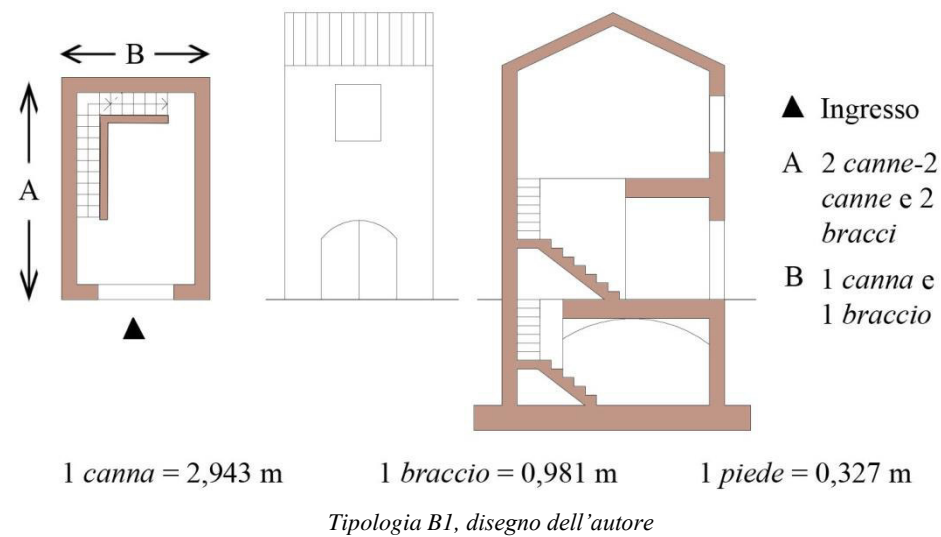
Tipologia A4, disegno dell'autore

La città di Pergola: quadro tipologico e costruttivo

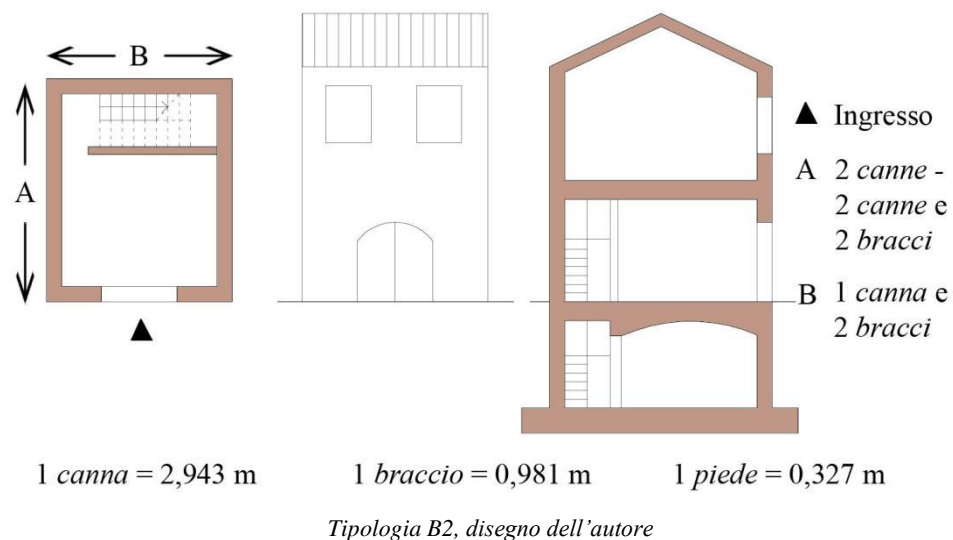
Le varianti diacroniche, invece permettono l'individuazione di 3 categorie differenti: la prima (B) legata alla necessità di spingersi un piano sotto il livello della strada come magazzino oppure per recuperare uno spazio fresco allo scopo di conservare meglio i cibi; la seconda (C) caratterizzata dalla sopraelevazione del secondo piano per aumentare gli spazi abitabili; la terza (D) caratterizzata dall'aggregazione di più cellule base per la definizione di tipi più complessi.

La categoria (B) si divide a sua volta in 4 tipologie che si rifanno alla categoria (A):

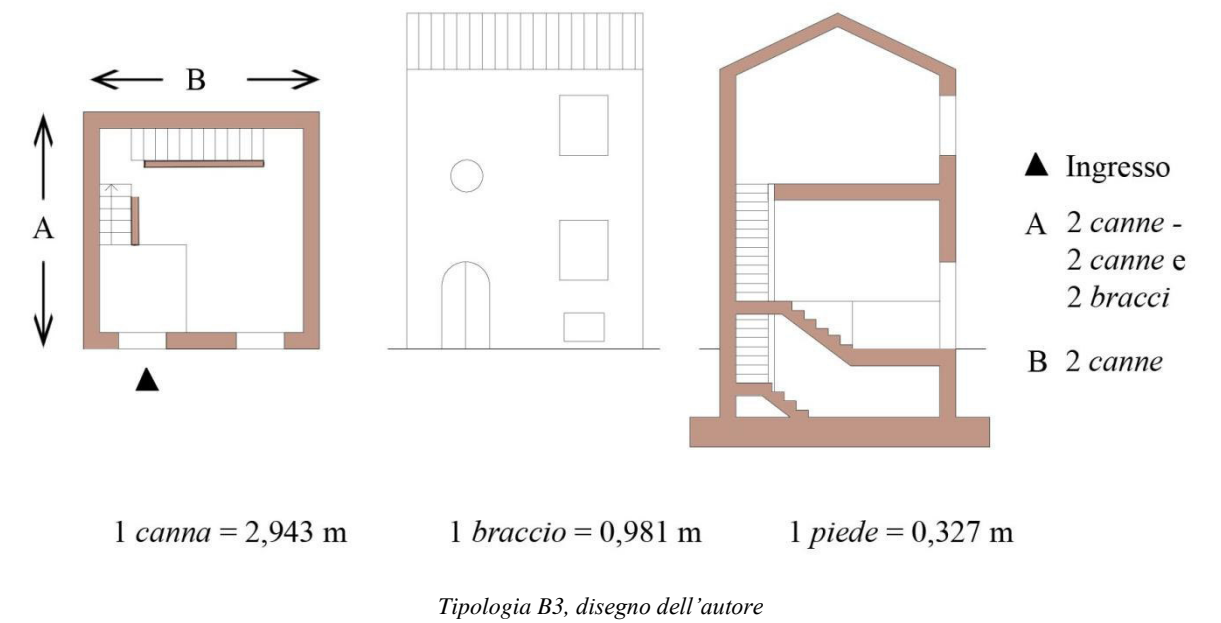
B1. Rispetto alla tipologia di riferimento si sviluppa un piano sotterraneo servito da un vano scala nella stessa posizione. Il piano interrato rimane cieco.



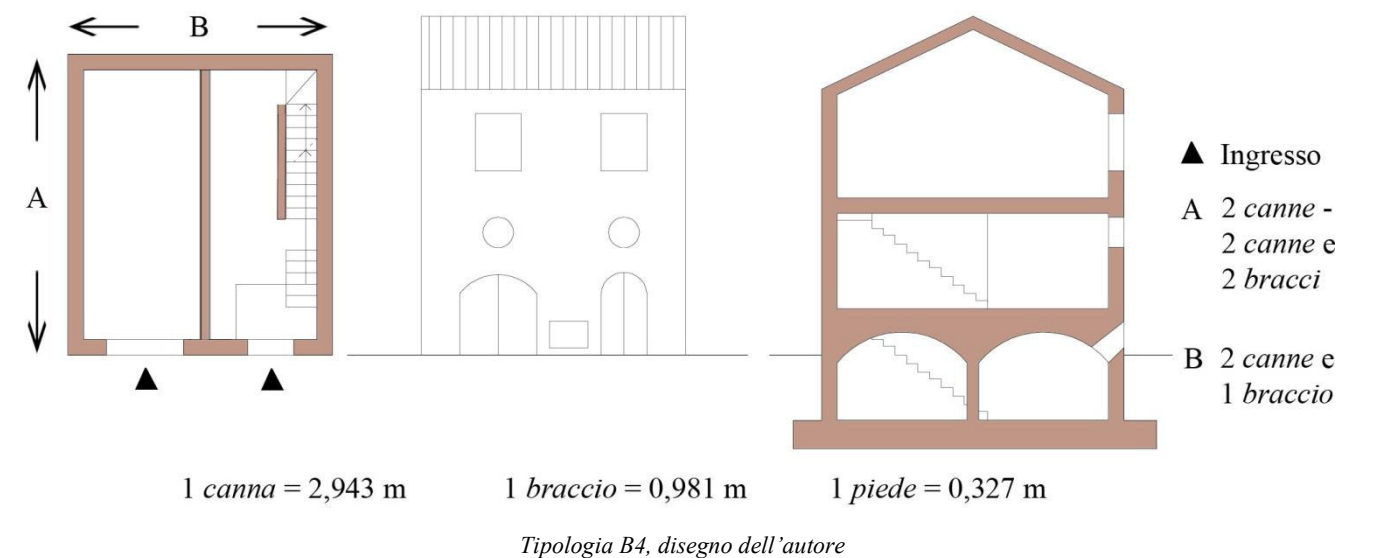
B2. Anche per questa tipologia valgono le stesse considerazioni fatte per la B1.



B3. Questa tipologia riprende la A3 e a differenza delle due precedenti si osserva che il piano terra viene rialzato per permettere l'areazione del piano interrato.

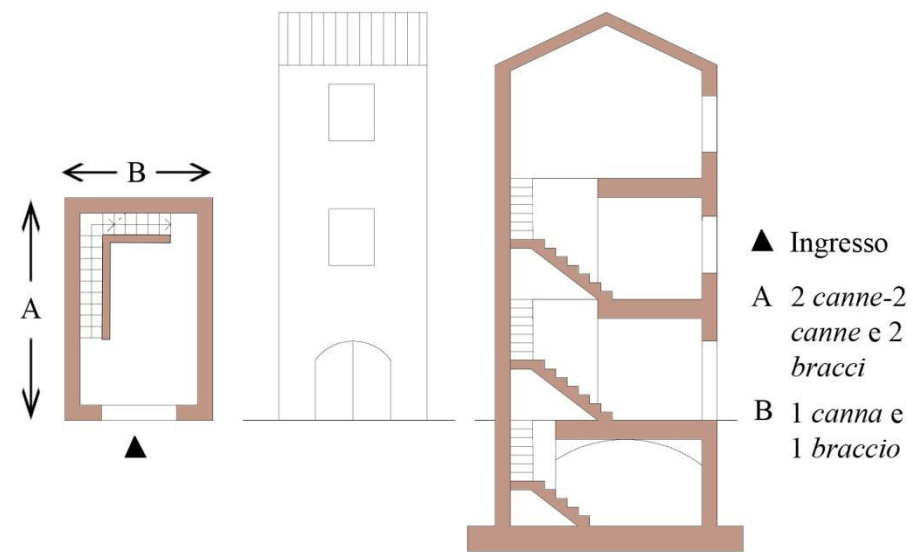


B4. Anche in questa tipologia il piano terra viene rialzato. Questo però è circoscritto all'ingresso dell'abitazione. La parte destinata a bottega invece rimane a livello della strada ed è separata dalla zona abitativa attraverso un muro. Le scale rimangono nella stessa posizione della categoria precedente ma sono interrotte per permettere l'accesso al piano rialzato.



Anche le sopraelevazioni (C) si rifanno alle tipologie di base:

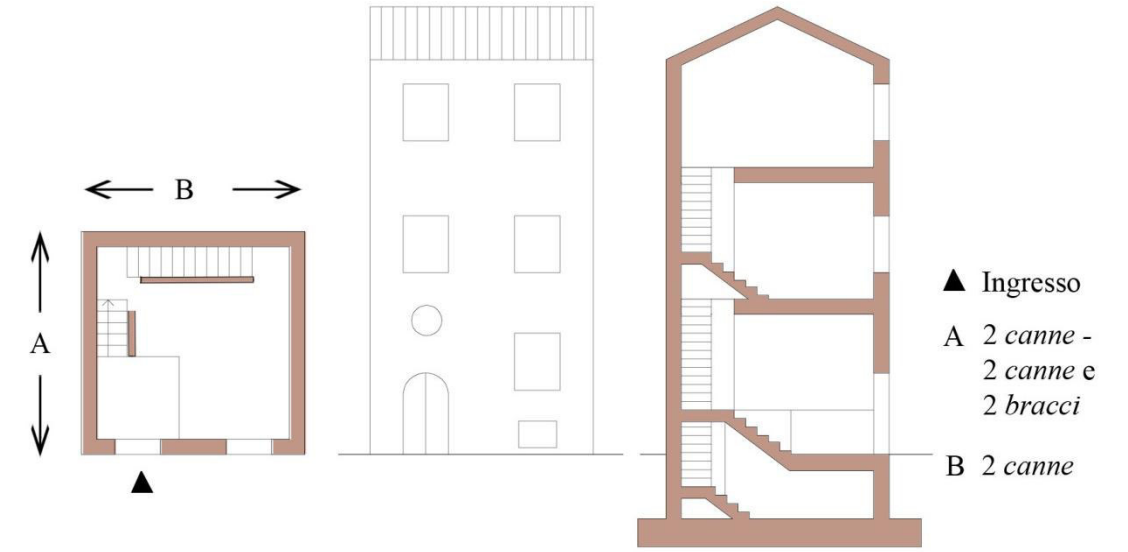
C1. Si notano le stesse caratteristiche della categoria B1 con il vano scala nella stessa posizione anche per l'accesso al nuovo piano secondo.



1 canna = 2,943 m 1 braccio = 0,981 m 1 piede = 0,327 m

Tipologia C1, disegno dell'autore

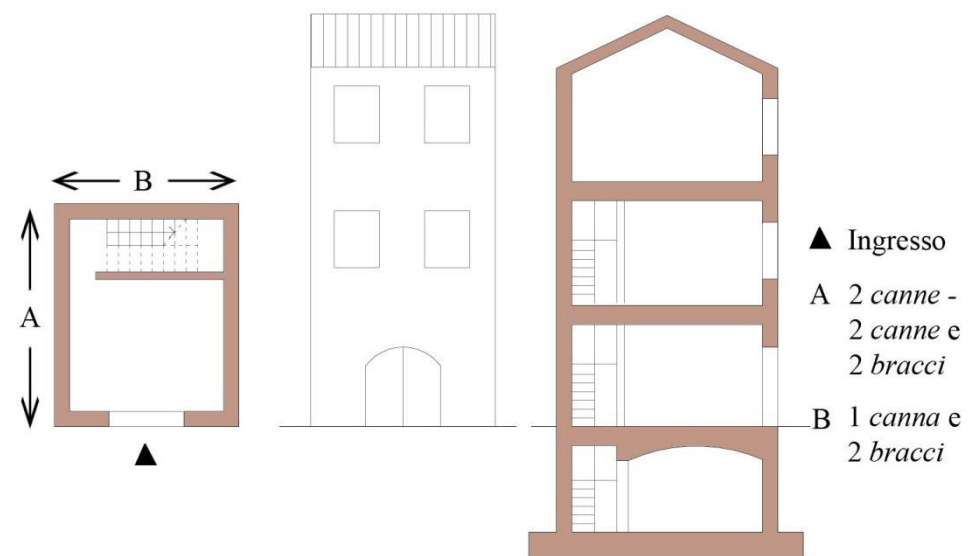
C3. Le caratteristiche in pianta sono le stesse della categoria B3; in prospetto invece si nota la comparsa di nuove aperture finestrate al primo e al secondo piano, in linea con la porta di ingresso.



1 canna = 2,943 m 1 braccio = 0,981 m 1 piede = 0,327 m

Tipologia C3, disegno dell'autore

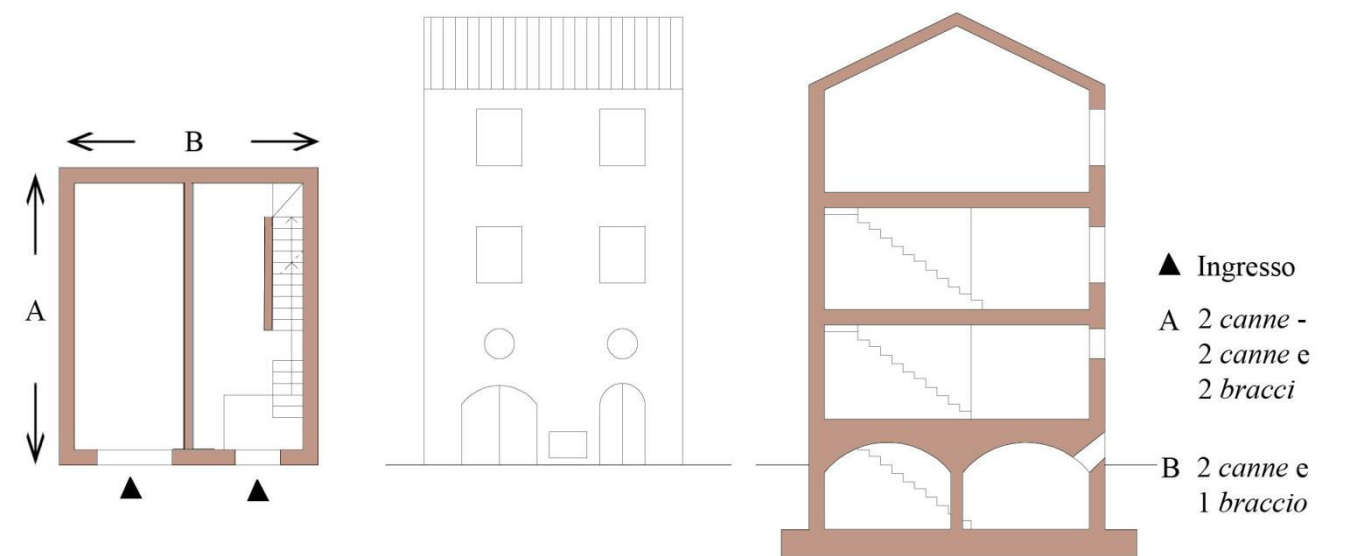
C2. Riprende in pianta la categoria B2. In sezione e nel prospetto si nota la sopraelevazione del secondo piano.



1 canna = 2,943 m 1 braccio = 0,981 m 1 piede = 0,327 m

Tipologia C2, disegno dell'autore

C4. Valgono le stesse considerazioni fatte per la categoria per la categoria B4 con l'unica differenza che qui appare il piano secondo.



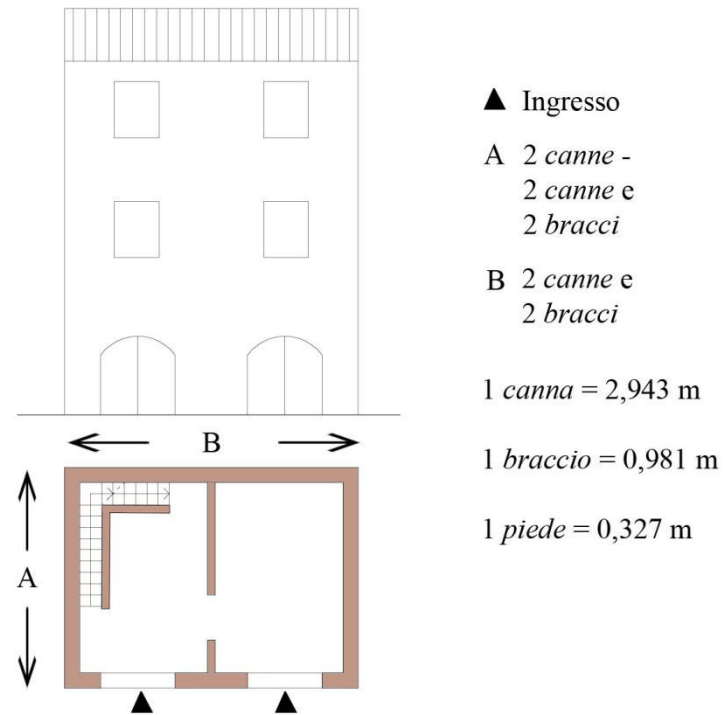
1 canna = 2,943 m 1 braccio = 0,981 m 1 piede = 0,327 m

Tipologia C4, disegno dell'autore

L'ultima categoria, che comprende le aggregazioni di più particelle, individua anch'essa 4 tipologie differenti:

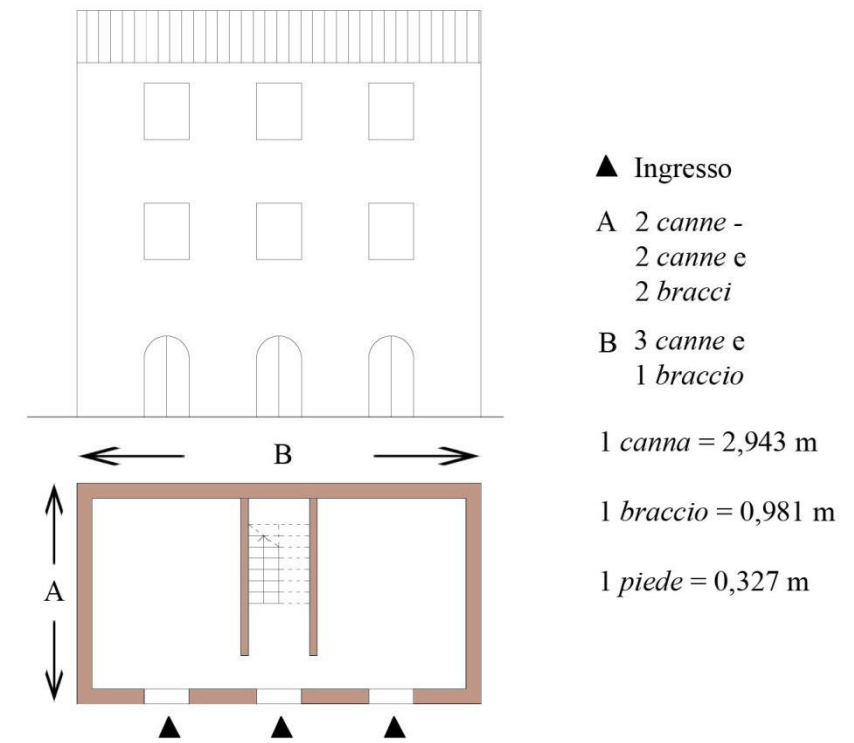
D1. Questa tipologia è caratterizzata dall'aggregazione di due cellule base del tipo A1. Essa presenta, infatti, una larghezza di 2 *canne* e 2 *bracci*, quindi di circa 8 metri. Si nota inoltre il doppio accesso che in entrambi i casi rimane quello tipico della bottega. Un vano scala, come si può bene supporre, scompare, privilegiando uno dei due per l'accesso ai piani superiori. La tipologia si presenta con o senza piano interrato.

Questa tipologia può essere riprodotta e aggregata senza problemi per ottenere tipi più complessi e di dimensioni maggiori.



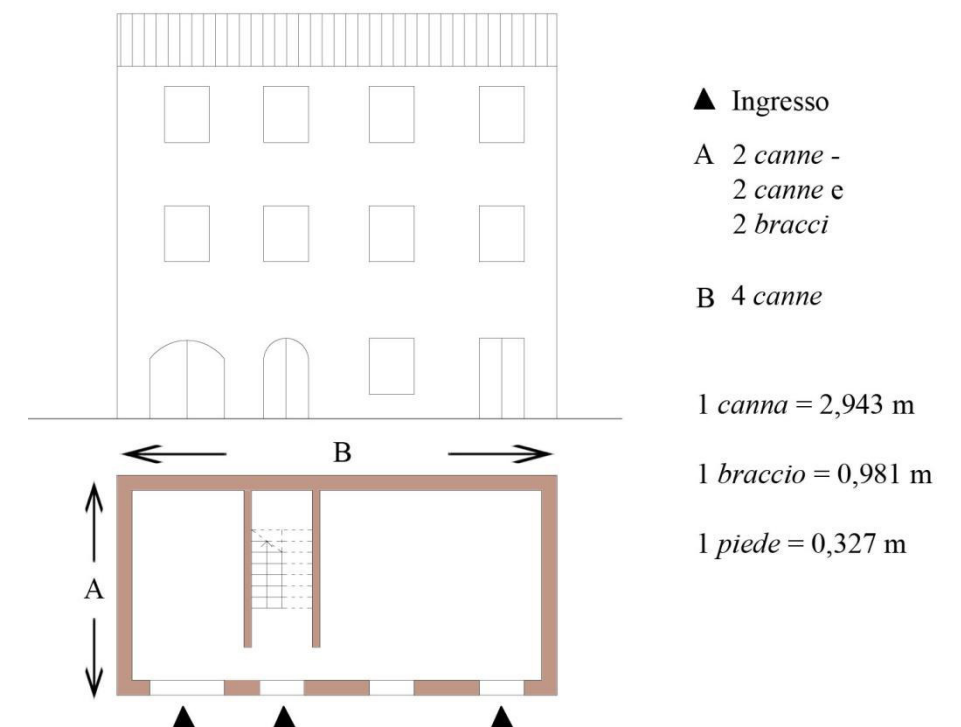
Tipologia D1, disegno dell'autore

D2. Questa tipologia, invece, è formata dall'aggregazione di due cellule base del tipo A2. Si nota, infatti, la larghezza che diventa di 3 *canne* e 1 *braccio*. Il vano scala in questo caso, risulta spostato; nella cellula minima si trovava posizionato a ridosso del muro posteriore, mentre nella nuova tipologia si trova al centro in modo da servire indifferentemente la parte destra e quella sinistra.



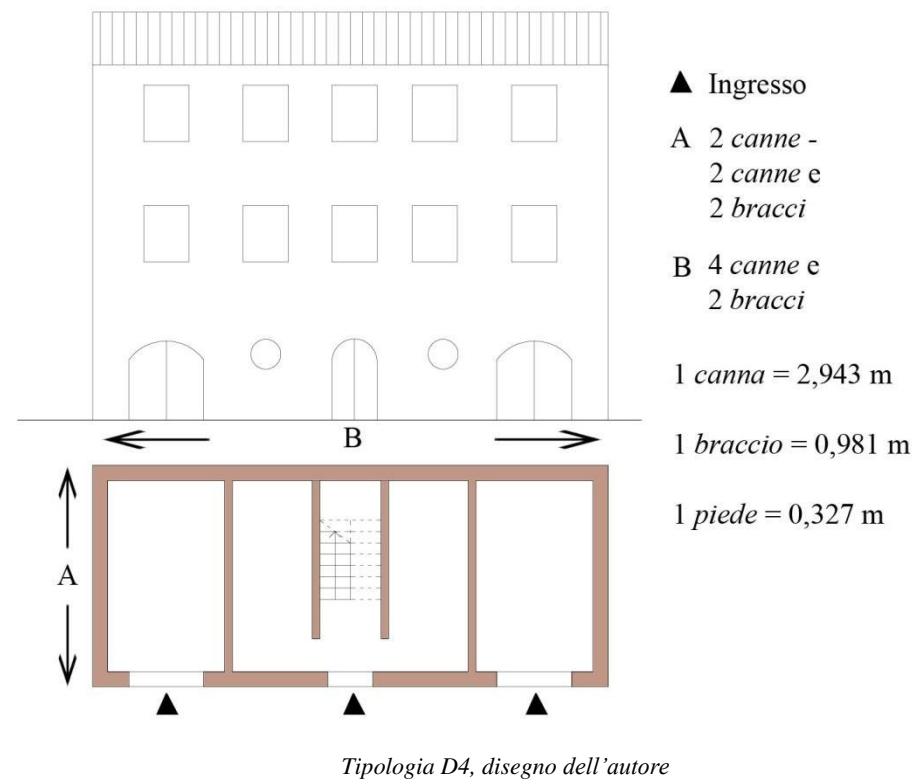
Tipologia D2, disegno dell'autore

D3. La tipologia D3 è il risultato dell'aggregazione di due tipologie A3 come si nota dall'ampiezza di 4 *canne*. In questo caso però lo scema degli accessi varia. Varia anche la posizione e la forma del vano scala; questo infatti diventando a due rampe permette alla tipologia di avere una profondità ridotta rispetto a quella di partenza.



Tipologia D3, disegno dell'autore

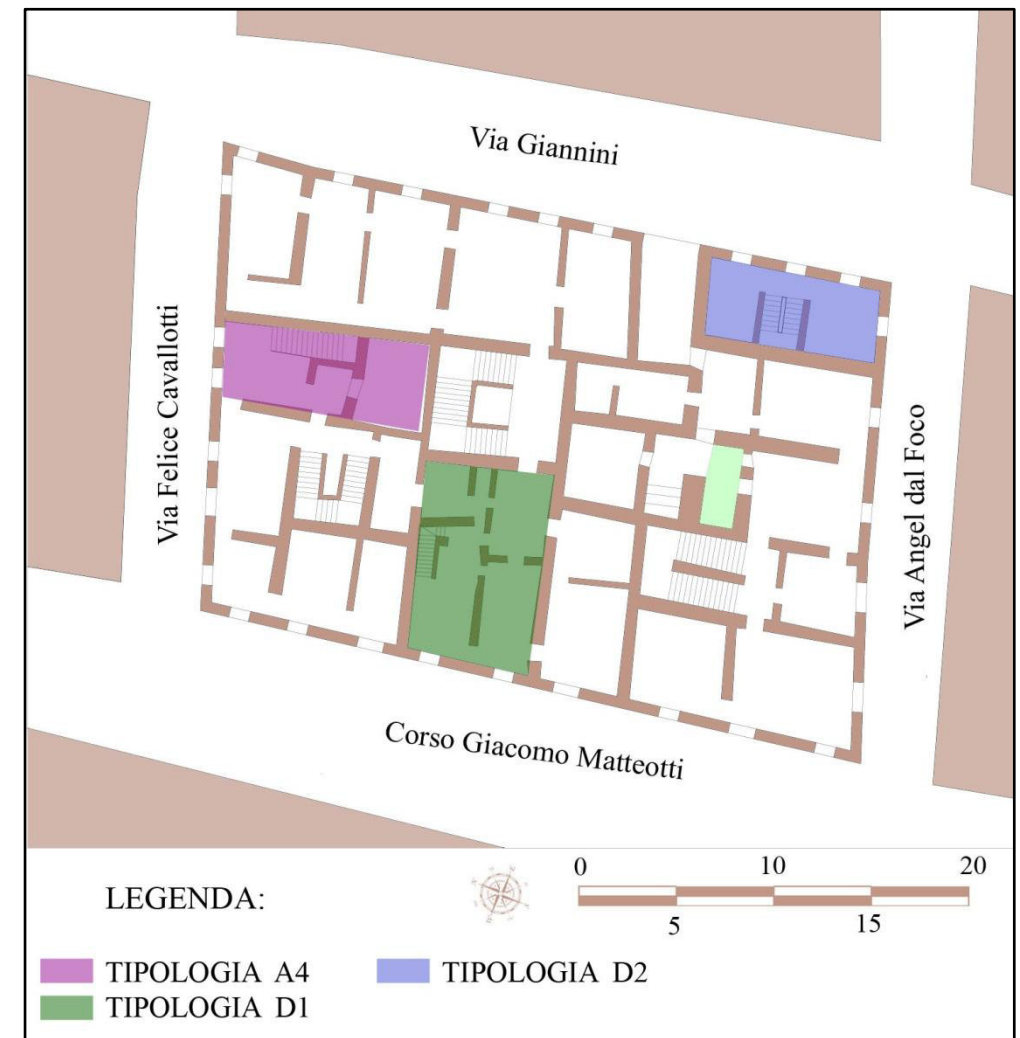
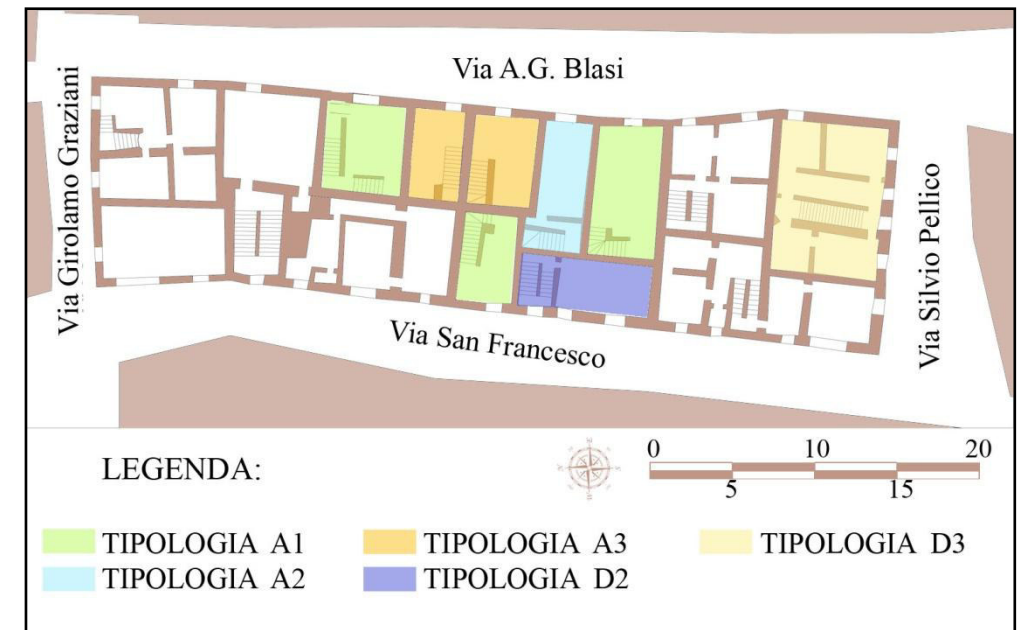
D4. Questa tipologia risulta dall'aggregazione di due cellule base del tipo A4. Le aperture per le botteghe vengono mantenute mentre viene data centralità all'ingresso per le abitazioni e al vano scala. La larghezza della struttura diventa quindi di 4 canne e 2 bracci che corrispondono a poco meno di 14 metri.



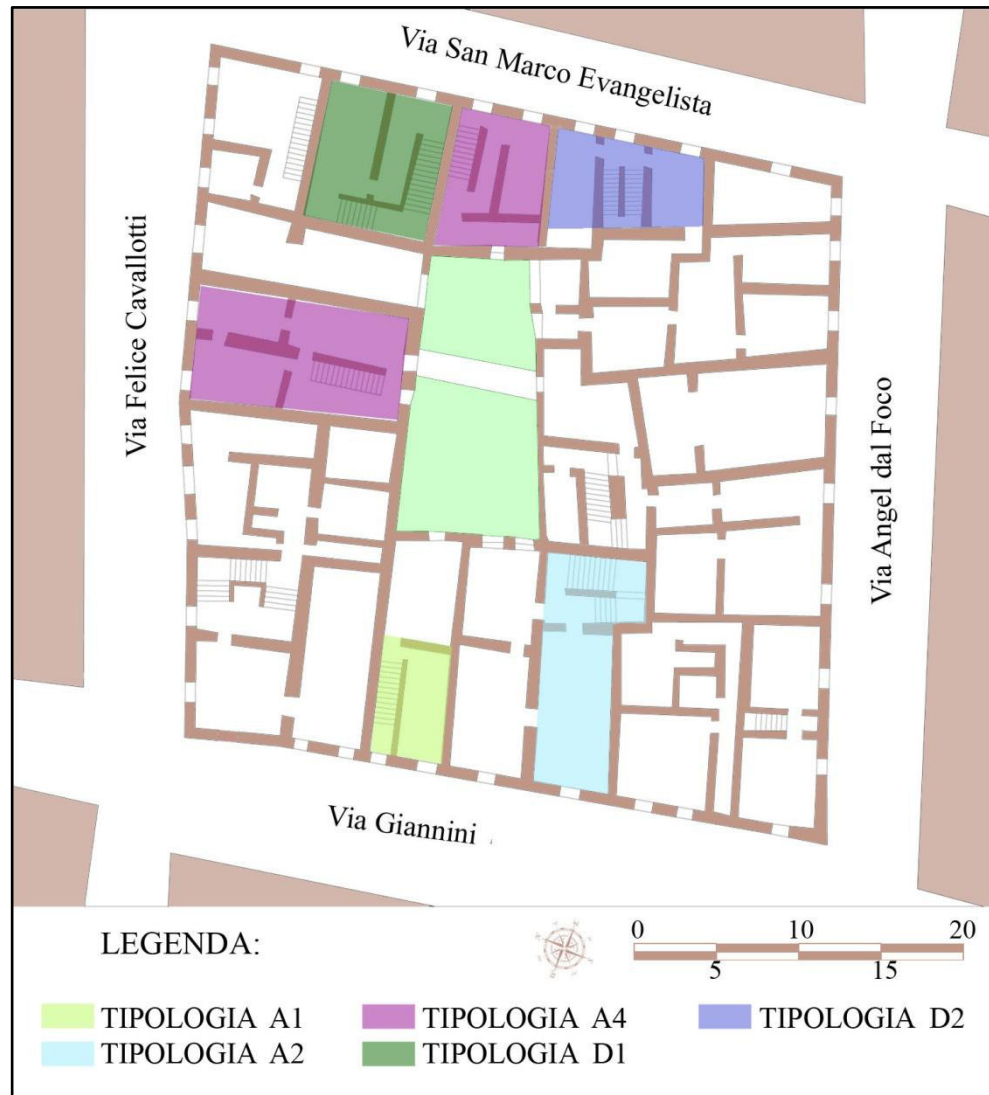
Oltre a queste tipologie, sono riscontrabili, ovviamente, tipologie di tipo specialistico come la casa a corte nobiliare, i palazzi adibiti a funzioni pubbliche e le chiese.

L'analisi del tessuto urbano del centro storico di Pergola, degli isolati quindi, che hanno subito, nel tempo, più modificazioni ma conservato intatti gli elementi costruttivi, ha permesso di individuarne tre tipi:

- 1- Isolato rettangolare costituito da un unico muro di spina che serve due file di unità abitative
- 2- Isolato rettangolare a corte interna. Qui la struttura spesso + stata modificata nel tempo attraverso ampliamenti tali da determinare in alcuni casi la completa scomparsa della corte.
- 3- Isolato quadrato a corte interna. Valgono le stesse considerazioni fatte per il precedente.



La città di Pergola: quadro tipologico e costruttivo



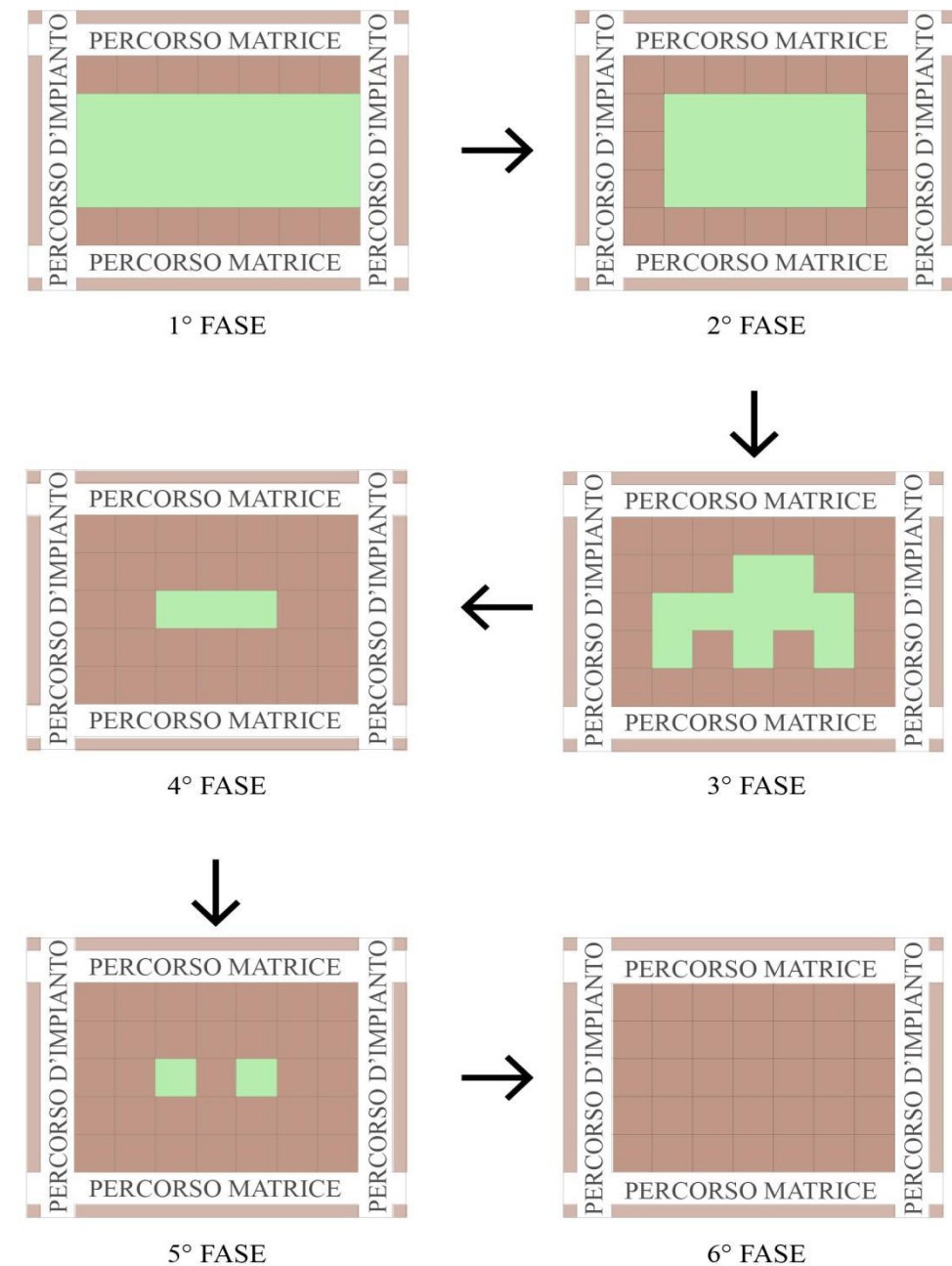
Esempio isolato quadrato a corte interna, disegno dell'autore

Lo sviluppo di tali isolati, che li ha portati ad assumere la conformazione attuale, è caratterizzato da diverse fasi.

In riferimento agli isolati "a corte", che siano essi rettangolari o quadrati, le fasi di sviluppo sono riconducibili a sei:

1. Accostamento in linea della cellula base, lungo le vie principali. Se si pensa che la maggior parte delle tipologie presenta una combinazione del tipo casa- bottega, il fatto di svilupparsi in linea con il fronte principale verso il percorso matrice risulta abbastanza scontato.
2. Chiusura dell'isolato con lo sviluppo delle cellule lungo i percorsi d'impianto; formazione quindi della corte che in questa fase risulta ancora molto ampia.

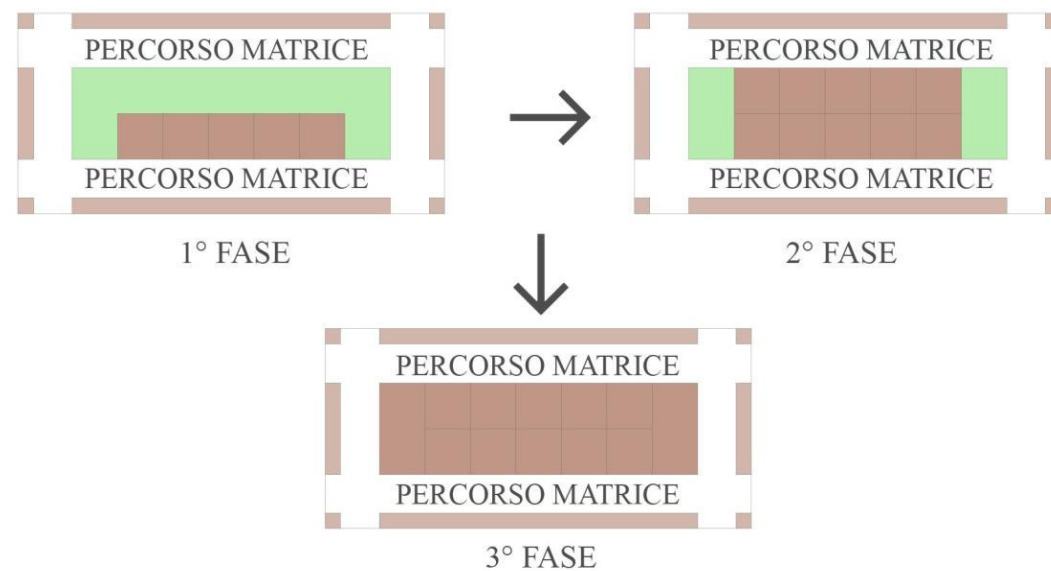
3. Sviluppo in profondità di alcune cellule con fronte sul percorso matrice, dettato dalla necessità di ottenere più spazi abitativi. In questa fase la corte si può presentare di forma irregolare.
4. Sviluppo in profondità di tutte le cellule con fronte sul percorso matrice. La corte risulta centrale e regolare.
5. Parziale chiusura della corte con altre cellule base. In questa fase la corte tende a dividersi in altre di minori dimensioni oppure a ridursi ad un "camino" centrale.
6. Totale assorbimento della corte interna. Questa fase si presenta solo in alcuni casi, non può quindi ritenersi una regola.



Evoluzione isolato a corte, disegno dell'autore

In riferimento all'isolato rettangolare con un unico muro di spina, invece, le fasi di sviluppo si riducono a tre:

1. Accostamento in linea della cellula base lungo il principale percorso matrice.
2. Accostamento il linea della cellula base lungo il secondario percorso matrice. Questa fase porta generalmente i due aggregati lineari ad appoggiarsi l'uno sull'altro attraverso il muro posteriore che diventerà così il muro di spina del nuova aggregato.
3. Completamento dell'isolato con lo sviluppo di due cellule base ai bordi.



Evoluzione isolato rettangolare con un unico muro di spina, disegno dell'autore

Si può quindi concludere l'analisi tipologica affermando che le fasi di sviluppo possono essere riassunte in quattro momenti:

1. In un primo momento si sviluppano le cellule base, soprattutto del tipo casa-bottega, lungo le vie più trafficate e che permettono quindi un guadagno sicuro e veloce.
2. In un secondo momento, la cellula base caratterizzata da due piani fuori terra risulta insufficiente alla funzione di bottega e quindi si sviluppa il piano interrato che viene utilizzato come magazzino.
3. Successivamente, anche la vita quotidiana e abitativa necessita di un adattamento al nuovo sviluppo dei commerci. In questo caso l'evoluzione si manifesta costruendo

un terzo piano fuori terra nel quale spesso si concentravano i locali adibiti alla cucina e al soggiorno. Si ricordi, infatti, che nel medioevo le strutture come i solai erano interamente realizzate in legno e quindi si rendeva necessario uno sfogo diretto dei fumi da cucina.

4. Nell'ultima fase, con lo sviluppo dei commerci e l'aumento della comunità, si rende necessaria l'aggregazione di più cellule base al fine di realizzare aggregati atti al soddisfacimento dei nuovi bisogni.

2.4.2 Caratteristiche costruttive

Nel quadro di analisi sismica quando si studiano le tipologie di materiali e le tecniche costruttive presenti in un determinato territorio, bisogna ricordare che esse sono state influenzate, con ogni probabilità, dalla reperibilità in loco dei materiali da costruzione e dalla pericolosità sismica del luogo. Laddove tale rischio sismico sia comunemente considerato elevato appariranno regole costruttive collegate a contrafforti, catene e ammorsamenti tra le murature; saranno, invece, assenti laddove la pericolosità sismica non è sentita come problema preponderante.

La resistenza nel tempo dei materiali utilizzati è spesso connessa alle caratteristiche proprie del materiale e alle tecniche costruttive impiegate; ecco allora che diventa necessaria una ricerca volta alla conoscenza delle modalità di messa in opera, unitamente all'individuazione dell'organizzazione del cantiere storico e delle maestranze locali.

A fronte delle molteplici varietà con le quali le tecniche costruttive appaiono nei diversi luoghi e nelle diverse epoche storiche, esse presentano alcune caratteristiche costanti.

Gli orizzontamenti, come i solai ad esempio, prima dell'avvento del cemento armato o delle strutture in acciaio, potevano essere di due tipi:

1. Ad un'unica orditura di travi in legno prevalentemente d'abete con assito in legno.

La città di Pergola: quadro tipologico e costruttivo

2. A doppia o tripla orditura in legno d'abete e piastrelle in laterizio: questo tipo è realizzato con orditura principale disposta ad interasse di 2÷4 m secondo la dimensione minore dell'ambiente e una serie di travi secondarie di minore dimensione è disposta perpendicolarmente ad interassi comuni di 30÷60 cm. La presenza di travi nelle due direzioni consente di ripartire i carichi su tutti i muri, anche se in corrispondenza degli appoggi delle travi principali si hanno concentrazioni elevate di sforzo. Per distribuire meglio il carico si usano alcuni corsi di mattoni oppure una tavola di legno duro o una lastra di pietra. La sovrapposizione tra le travi principali e le secondarie, inoltre, porta ad avere solai di elevato spessore.



Intradosso di un solaio in legno ad una unica orditura in edificio del centro storico di Pergola



Estradosso di un solaio in legno ad una unica orditura in un edificio del centro storico di Pergola



Intradosso di un solaio in legno a tripla orditura con rivestimento in laterizio in un edificio del centro storico di Pergola

Questi tipi di solai, che caratterizzano tutti i piani fuori terra, comprese le coperture, sono ancora ben visibili negli aggregati pergolesi in cui sono state mantenute le caratteristiche originarie nonostante sicuramente abbiano subito interventi postumi rispetto alla loro prima costruzione.

Ovviamente, vicino alle strutture in legno, anche nello stesso aggregato, sono presenti strutture in latero-cemento o solai con struttura in acciaio e voltine in mattoni, frutto di interventi più moderni.

Al piano seminterrato o interrato invece i solai sono costituiti per la maggior parte da volte a botte in laterizio.



Vista dei sotterranei dell'ex cenobio avellanita, Corso Giacomo Matteotti, 18, Pergola

La città di Pergola: quadro tipologico e costruttivo

Lo stretto rapporto che Pergola ha sempre posseduto, come documentato precedentemente, con la “città madre” Gubbio, è riscontrabile nelle numerose testimonianze architettoniche ancora visibili. Una su tutte l'utilizzo della cosiddetta *porta del morto*. Questa era una seconda apertura sulla facciata, a fianco della porta principale, ma più stretta e rialzata rispetto a quest'ultima di 40-50 cm, così da permettere il diretto collegamento al piano rialzato interno. Secondo la tradizione, serviva, solo ed esclusivamente, per il passaggio della salma; nulla oltre la bara poteva passare per questa apertura, tanto che nei periodi in cui, fortunatamente, non si rendeva necessario il suo utilizzo, veniva sprangata o addirittura murata. Questa visione superstiziosa della *porta del morto*, è affiancata da una ragione più pratica: essa, infatti, essendo rialzata sopra il livello della strada, allo stesso livello del calpestio interno, rendeva la procedura di trasporto della bara, dall'interno all'esterno dell'abitazione, molto più veloce e sicura rispetto a farla passare per le scale interne, spesso ripide e strette.

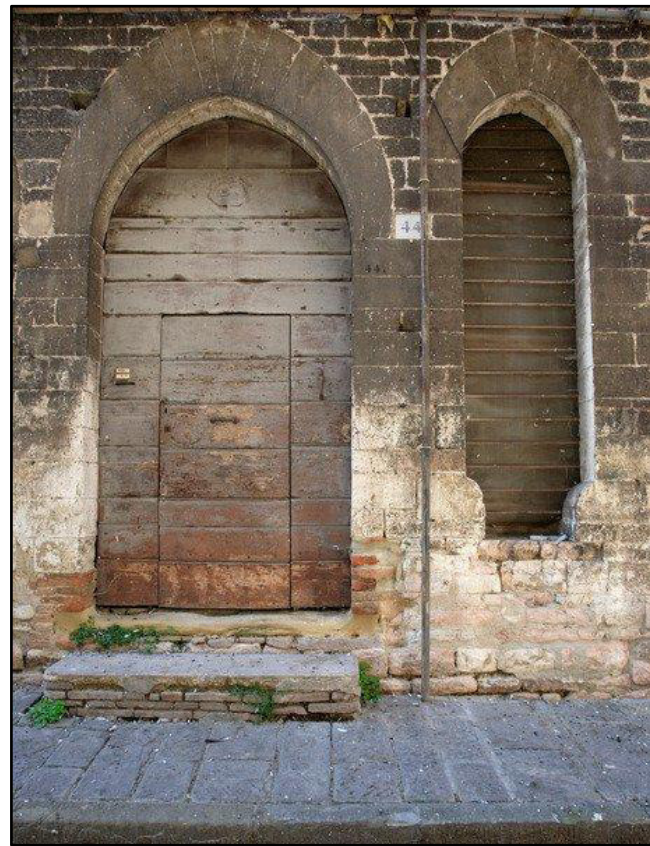
Nel comune umbro, inoltre, nel periodo medievale fino al XVI secolo, è nota la presenza

dei cosiddetti “Maestri Comacini”. Questi *erano esperti in architettura e ingegneria edile, si spostavano da un luogo all'altro d'Italia e d'Europa, per costruire sontuose chiese e cattedrali romaniche, rinascimentali, barocche, palazzi e castelli, porti e fortezze. Al loro seguito, scultori, tagliapietre, scalpellini, capimastri, ebanisti, apprendisti. Provenivano dalle zone di Lugano e di Como [...] e dal XIII secolo si diffusero, si organizzarono in gilde, congreghe, corporazioni, propri statuti, regole, scuole, capitani, chiese, ospedali, tutti vincolati alla solidarietà, e alla mutua assistenza. [...]*

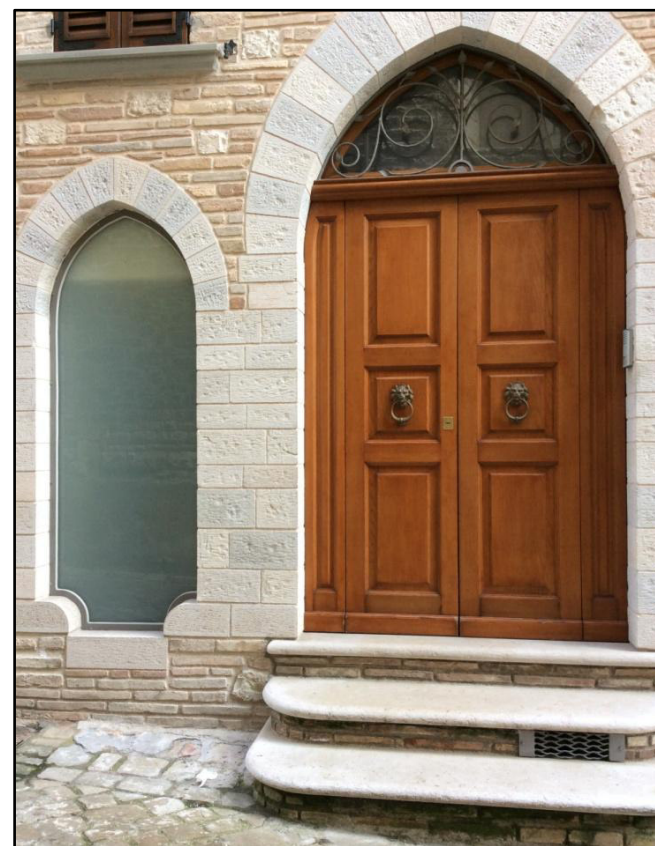
Nelle Marche, in molte città piccole e grandi, dal secolo Tredici al Diciottesimo, chiamati dalla ricca committenza laica ed ecclesiastica, lavorano una trentina di maestri: incisero il nome sulla pietra.¹

Si deduce, quindi, anche dalla importanza, economica e culturale, che Pergola aveva ottenuto fin dai primi anni dopo la sua fondazione, che i *Maestri comacini* siano passati anche nel piccolo comune marchigiano. Questo sembra essere testimoniato da una formella in cui è scolpito un bassorilievo raffigurante una squadra, una palma, un compasso e una croce, sulla facciata dell'abitazione in Via San Francesco n°20.

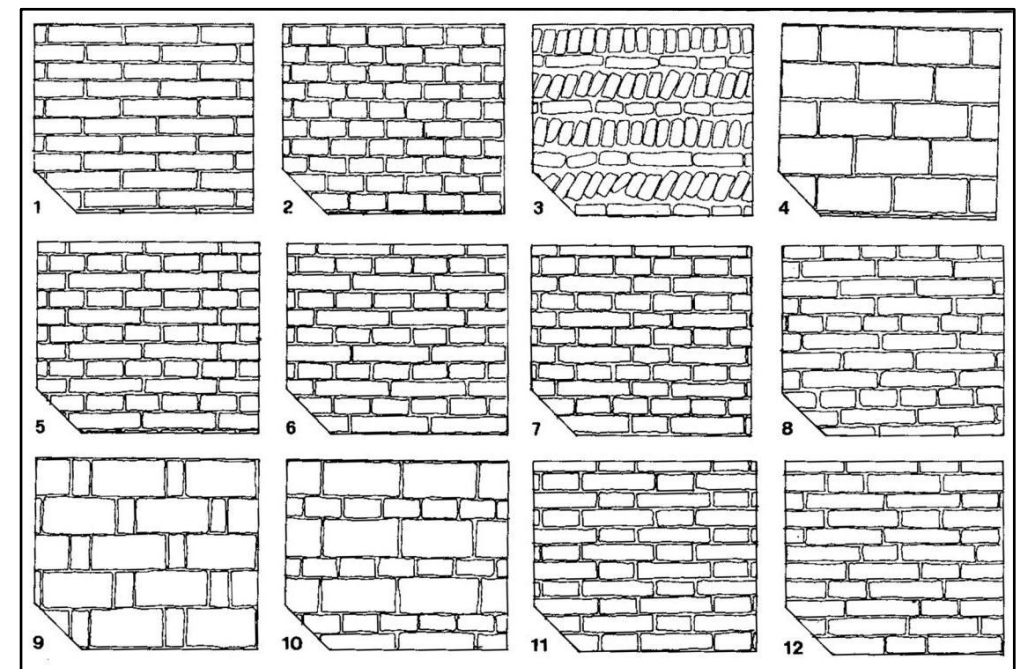
Come si è accennato, nonostante le differenze geografiche e temporali, si possono riscontrare delle caratteristiche comuni nelle tecniche costruttive. Questo accade anche per



Esempio di “porta del morto” in un edificio del centro storico di Gubbio



Esempio di “porta del morto” in un edificio del centro storico di Pergola

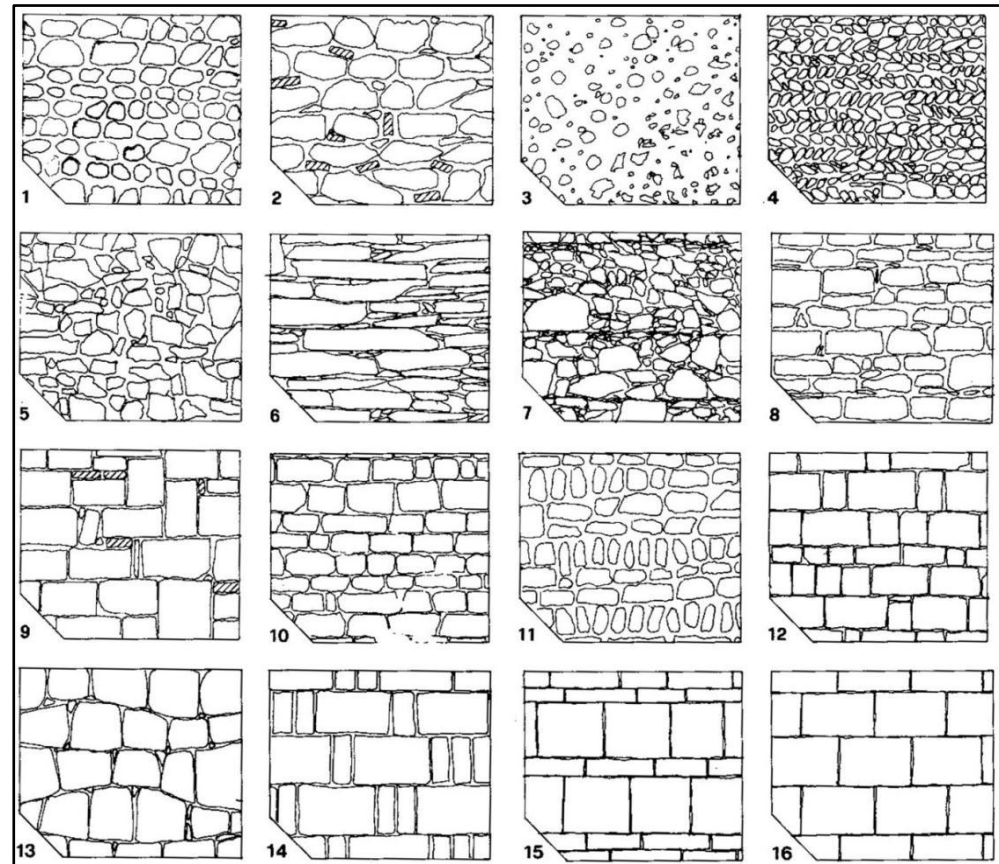


Tipologia delle apparecchiature murarie in materiali in laterizio, R. Parenti [1988]

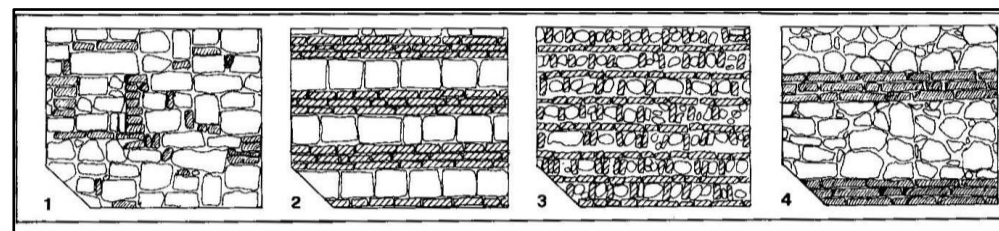
quanto riguarda i paramenti murari.

Le strutture in muratura possono essere divise in base ai materiali, alla messa in opera e al tipo di malta utilizzata. A seconda del materiale si possono identificare tre grandi categorie:

1. Strutture composte da materiali lapidei
2. Strutture composte da materiali in laterizio
3. Strutture miste composte da materiali lapidei e in laterizio



Tipologia delle apparecchiature murarie in materiali lapidei, R. Parenti [1988]



Tipologia delle apparecchiature murarie miste in materiali lapidei e laterizi, R. Parenti [1988]

La mancanza di monoliticità trasversale di un muro, che spesso è presente in quei paramenti murari formati da due facce separate e riempite di materiale non omogeneo, è uno dei difetti più invalidanti. Questo, unito al tipo di malta che viene utilizzata e alla sua proporzione rispetto al tutto, determina una vulnerabilità accentuata della muratura in presenza di azioni esterne dirette ortogonalmente al piano.

La risposta di una costruzione in muratura al terremoto, e quindi la crisi, può essere di due tipi:

1. Locale: si verifica quando gli elementi che compongono la costruzione non sono efficacemente collegati fra loro. In queste condizioni ciascun elemento deve far fronte per conto proprio alle azioni di inerzia che si generano nelle masse propria e direttamente portata. In generale, gli elementi più penalizzati sono quelli investiti da azioni ortogonali al proprio piano, cioè nella direzione di minor rigidità e resistenza. Tali elementi possono collassare per azioni anche non troppo elevate
2. Globale: quando gli elementi della costruzione sono ben collegati fra loro, si instaura il cosiddetto comportamento scatolare, in cui le pareti direttamente investite dalle azioni orizzontali, essendo ben vincolate, resistono alle azioni che competono loro, trasmettendole alle pareti di controvento, le quali sono chiamate a rispondere nel loro piano di maggior rigidità e resistenza.

Solo alcune delle caratteristiche costruttive di Pergola possono essere ricondotte ai tipi individuati nelle figure precedenti. Per le apparecchiature murarie in materiale lapideo si possono trovare:

1. Tipo 7: irregolare, a bozze o blocchi spaccati. Questa tipologia si trova soprattutto nei resti antichi delle vecchie mura di cinta.
2. Tipo 8: a corsi sub-orizzontali e paralleli, con bozze sdoppiate, con o senza zeppe.
3. Tipo 12: a corsi orizzontali paralleli, con conci riquadrati e spianati.

La città di Pergola: quadro tipologico e costruttivo



Pergola: tipo 7 materiale lapideo



Pergola: tipo 8 materiale lapideo



Pergola: tipo 12 materiale lapideo

Per quanto riguarda le apparecchiature murarie in laterizio è difficile ricondursi ad una o più tipologie schematizzate dal Parenti, così come accade anche per le apparecchiature in materiale misto lapideo-laterizio.

Si riporta di seguito la documentazione fotografica dei rilevamenti effettuati nel centro storico di Pergola. Questi hanno evidenziato delle costanti nelle misure dei materiali da costruzione; gli elementi lapidei ad esempio si trovano in due distinte varianti:

1. 54 x 27 x 16
2. 40 x 22 x 15



Misurazioni elementi in materiale lapideo

Anche gli elementi in laterizio sono presenti, perlopiù, in due versioni differenti:

1. 28 x 13 x 5
2. 30 x 15 x 6



Misurazioni elementi in laterizio

Come accennato, però, l'apparecchiatura non può essere ricondotta a qualche tipologia in particolare e si presenta, per la maggior parte del centro storico, di scarsa qualità e caratterizzata dall'unione di materiale lapideo e laterizio mediante l'utilizzo di malte anch'esse qualitativamente scadenti.

Nell'ottica dello studio delle vulnerabilità sismiche degli aggregati edilizi urbani e del confronto del caso di studio di Pergola con quelli analizzati nei territori emiliani, questa particolare situazione renderà necessaria l'introduzione di un coefficiente correttivo che tenga conto, appunto, della scarsa qualità muraria riscontrata nel comune marchigiano.

Senza questo fondamentale passaggio, risulterebbe vano il lavoro di comparazione tra i vari comuni, oggetto di studi, che presentino tecniche costruttive e materiali diversi tra loro.

Note

¹BELTRAME B., *I “Maestri comacini” a Fabriano, sulle tracce della mitica Corporazione*, articolo pubblicato in www.lumornia.com/comacini.htm

Bibliografia

Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale, Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Roma 2006, pp.20-24, 57-60

PRESENTI S., *Il progetto di conservazione: linee metodologiche per le analisi preliminari, l'intervento, il controllo di efficacia*, Firenze 2001, pp.25-26

GIUFFRÈ A., *Sicurezza e conservazione dei centri storici. Il caso di Ortigia*, Bari, Editori Laterza, 2000

CECINI N., *Pergola lettura della città e del territorio*, Pergola 1982, pp124

PARENTI R., FRANCOVICH, *Archeologia e restauro dei monumenti. I ciclo di Lezioni sulla Ricerca applicata in Archeologia (Certosa di Pontignano 1987)*, Firenze 1988, pp.280-304

Tesi consultate

STELLA E., *La vulnerabilità degli aggregati storici analizzata a partire dalla caratterizzazione costruttiva: il caso di studio del centro storico di Lanciano*, A.A. 2013/2014

GAROFOLINI L., *Urbanistica e architettura del medioevo nelle Marche. Sedi civili e degli ordini mendicanti tra il 1270 e il 1300*, A.A. 1993/1994

ALBONICO A., ALBONICO A., *Castrum Collis Pergulae, una città di fondazione medievale nelle marche*, A.A. 1994/1995

PIRAZZINI F., *Analisi costruttiva di un comparto edilizio del borgo rinascimentale di Castel Bolognese (RA) finalizzata al miglioramento sismico*, A.A. 2008/2009

3 Aggregati oggetto di studio

3.1 Localizzazione degli aggregati

A fronte della ricerca condotta nei capitoli precedenti, si è, ora, in grado di portare lo studio ad una scala più ridotta, quella dell'aggregato.

Nell'analisi del processo evolutivo del centro storico di Pergola, per facilitare l'individuazione degli aggregati, anche in vista di un possibile approfondimento futuro, si sono suddivisi gli isolati a seconda del quartiere di appartenenza. Si sono quindi individuati dieci quartieri differenti:

- A. Quartiere Sant'Andrea
- B. Quartiere San Marco
- C. Quartiere Platea Magna
- D. Quartiere del Monte
- E. Quartiere delle Conce
- F. Quartiere san Francesco
- G. Quartiere delle Tinte
- H. Quartiere Campetello
- I. Quartiere sant'Agostino
- L. Quartiere del Piano



Localizzazione degli aggregati oggetto di studio, disegno dell'autore

Gli aggregati oggetto di studio appartengono al quartiere Sant'Andrea e sono identificati con la sigla A2 e A3.

3.2 Stato di fatto degli aggregati

Il primo passo propedeutico alla conoscenza dell'impianto strutturale di edifici esistenti in aggregato deriva dalla fase di rilievo geometrico che deve pertanto contenere tutti quegli elementi necessari a rappresentare l'articolazione, plano-altimetrica degli elementi costitutivi l'aggregato. Nel caso di aggregati edilizi, questa fase risulta particolarmente preziosa per mettere in luce l'articolazione spaziale-topografica di edifici in aderenza.

Il rilievo dello stato di fatto degli aggregati è stato un processo lungo e che ha coinvolto a diversi livelli l'amministrazione pubblica e professionisti privati.

Avendo come obiettivo principale l'analisi dei tessuti murari, si è proceduto, in primo luogo, alla restituzione in formato digitale della planimetria del piano terreno (documento cartaceo) del centro storico, conservata in Comune.

Di seguito sono riportati anche le piante dei piani superiori e i prospetti degli aggregati, ottenuti tramite il rilievo sul campo e la consultazione di alcuni elaborati concernenti le singole unità immobiliari.

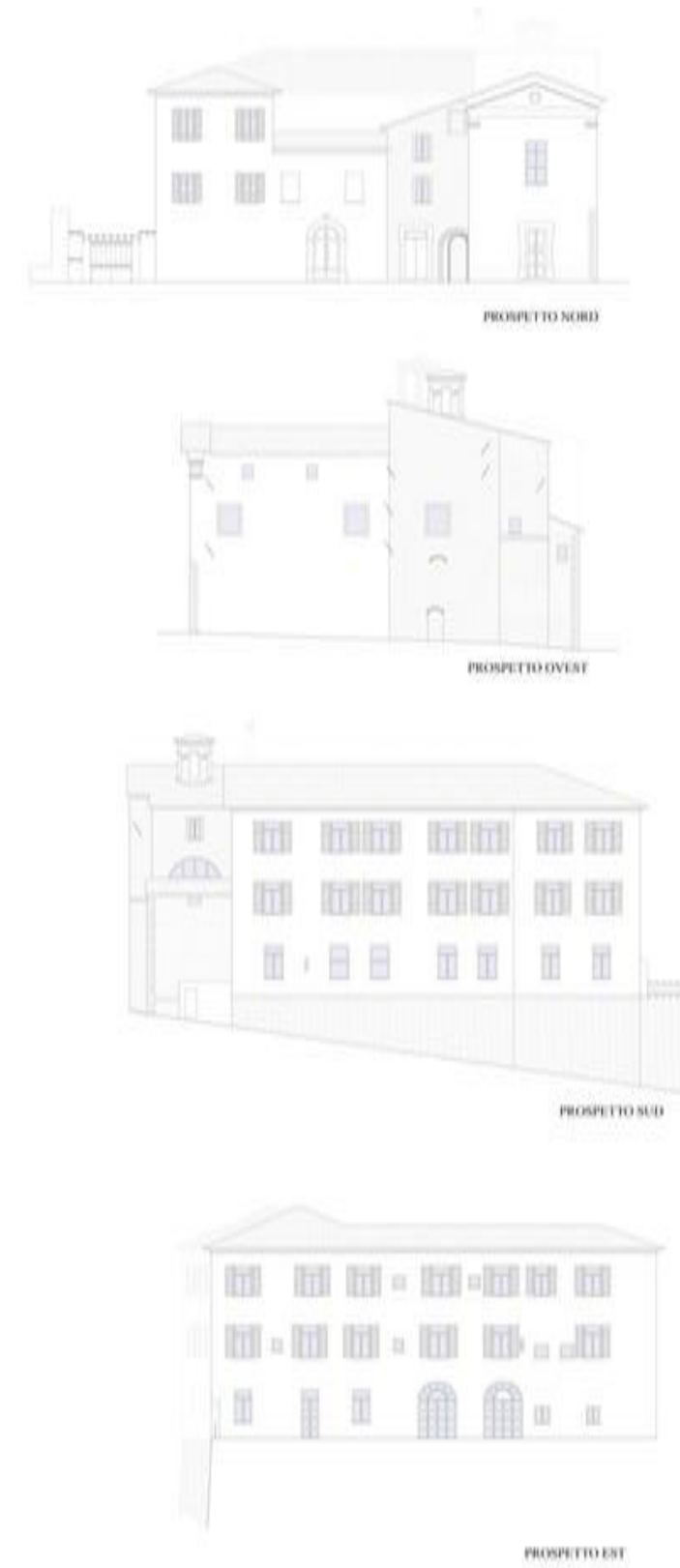


Identificazione dei tessuti murari del centro storico di Pergola, disegno dell'autore

3.2.1 Aggregato A2



Aggregato A2, stato di fatto, piante, disegno dell'autore



Aggregato A2, stato di fatto, prospetti, disegno dell'autore



3.2.2 Aggregato A3



PIANO TERRA

PIANO PRIMO



PIANO SECONDO

COPERTURA



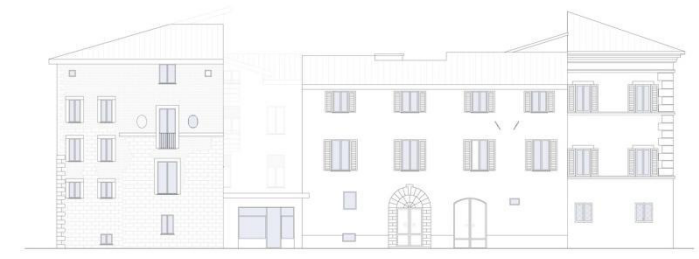
PROSPETTO SUD



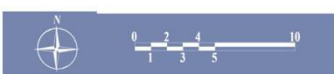
PROSPETTO EST



PROSPETTO NORD



PROSPETTO OVEST



Aggregato A3, stato di fatto, piante, disegno dell'autore



Aggregato A3, stato di fatto, prospetti, disegno dell'autore

3.3 Processo evolutivo degli aggregati oggetto di studio

L'analisi sulle trasformazioni dell'aggregato nel corso del tempo rappresenta un passo indispensabile per inquadrare eventuali precarietà strutturali o viceversa elementi o soluzioni strutturali, avvenute in epoche diverse, efficaci dal punto di vista della risposta sismica.

La ricostruzione della storia costruttiva dell'aggregato, ossia del processo di edificazione e aggregazione nonché delle successive modificazioni occorse nel tempo, costituisce un passo obbligato anche ai fini di una corretta individuazione del sistema resistente.

Tale fase è volta a ricostruire o ad ipotizzare la successione cronologica delle fasi costruttive delle diverse porzioni, al fine di individuare gli elementi originari e gli elementi realizzati a seguito del progressivo intasamento degli spazi urbani e, di conseguenza, le zone di possibile discontinuità strutturale e disomogeneità del materiale, sia in pianta che in alzato. Le analisi della evoluzione morfologica dell'aggregato sono svolte partendo da evidenze direttamente osservabili sul campo, basate essenzialmente sulla ispezione visiva dell'aggregato, avvalorate da un esame della cartografia catastale e storica appartenente ad epoche diverse in grado di documentare lo sviluppo processuale dell'edilizia di base (aggregazioni sulle mura urbane, aggregazioni su pendii naturali o ricavati da sbancamenti o riempimenti, ecc.)

3.3.1 Contributo delle mappe storiche e dei documenti

Il primo passo per comprendere il processo evolutivo di ogni aggregato è lo studio delle fonti storiche, cartografiche ed archivistiche, a disposizione.

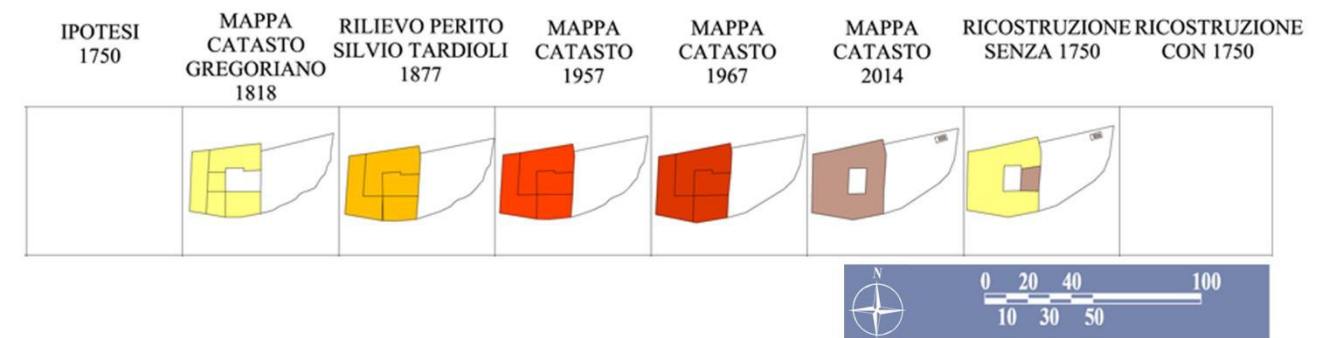
Analizzando lo sviluppo urbanistico della città di Pergola, attraverso la restituzione in formato digitale delle mappe catastali, dal catasto gregoriano del 1818 a quello moderno, è stato possibile, come spiegato in precedenza, redigere e un abaco riassuntivo dell'evoluzione di ogni singolo aggregato del centro storico.

È riportato di seguito il segmento di abaco riguardante gli aggregati oggetto di studio.

3.3.1.1 Aggregato A2

L'aggregato in esame, essendo stato per notevole tempo sede del convento delle Orsoline, ora sede della struttura sanitaria A.S.P., e avendo subito negli anni numerosi cambiamenti di destinazioni d'uso dei locali interni, è stato oggetto di numerose descrizioni.

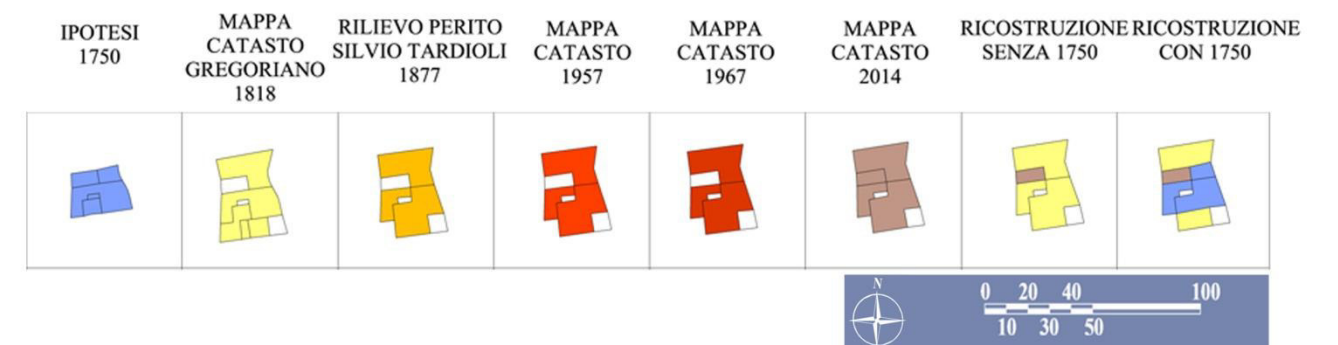
La chiesa adiacente, ormai sconsacrata, inoltre, è stata oggetto di analisi nel progetto di restauro condotto dallo studio "GRUPPO MARCHE", in seguito al terremoto del 1997. Il materiale a disposizione, relativo principalmente all'analisi storico-critica della fabbrica¹, permette di comprendere l'evoluzione cronologica dell'aggregato edilizio in esame.



Aggregato A2, ricostruzione evoluzione tramite mappe catastali, disegno dell'autore

3.3.1.2 Aggregato A3

I documenti a disposizione per l'analisi dell'evoluzione della fabbrica dell'aggregato edilizio A3, sono di entità notevolmente più scarsa, quasi inesistente, rispetto a quelli relativi al precedente caso. Vista l'impossibilità di reperire documentazioni storiche dettagliate, le successive ipotesi relative alla formazione dell'aggregato sono basate soprattutto sul rilievo critico di esso.



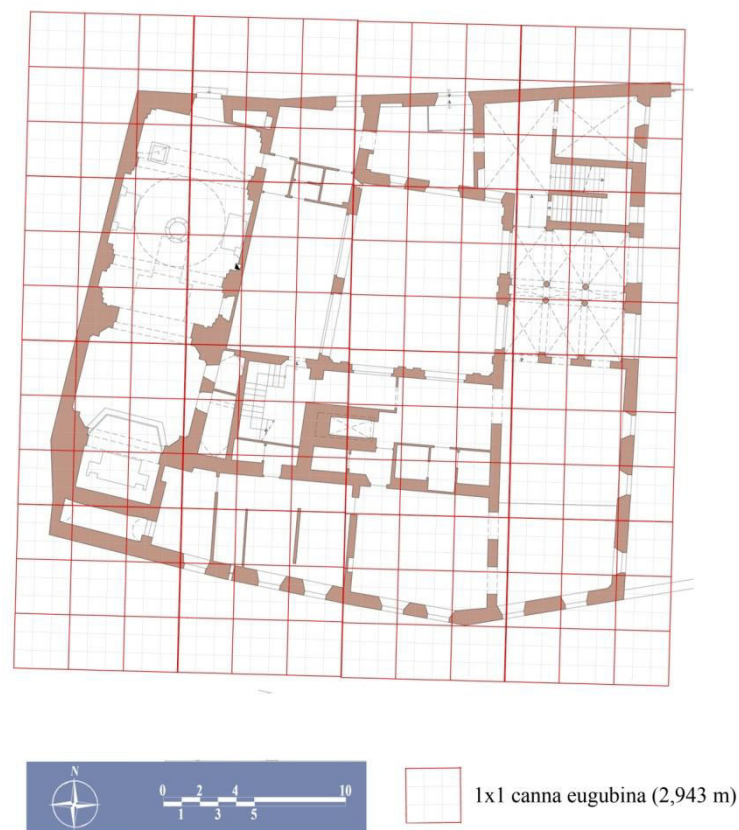
Aggregato A3, ricostruzione evoluzione tramite mappe catastali, disegno dell'autore

3.3.2 Analisi metrologica

Lo studio metrologico condotto a scala urbana sul centro storico di Pergola ha permesso di evidenziare le notevoli corrispondenze con le unità di misura eugubine di epoca medievale. Come ricordato, appunto, l'unità di misura base adottata è la *canna eugubina* di 2,943 m di lunghezza; essa si compone a sua volta di tre bracci di 0,981 m che a loro volta sono formati da 3 piedi di 0,327 m.

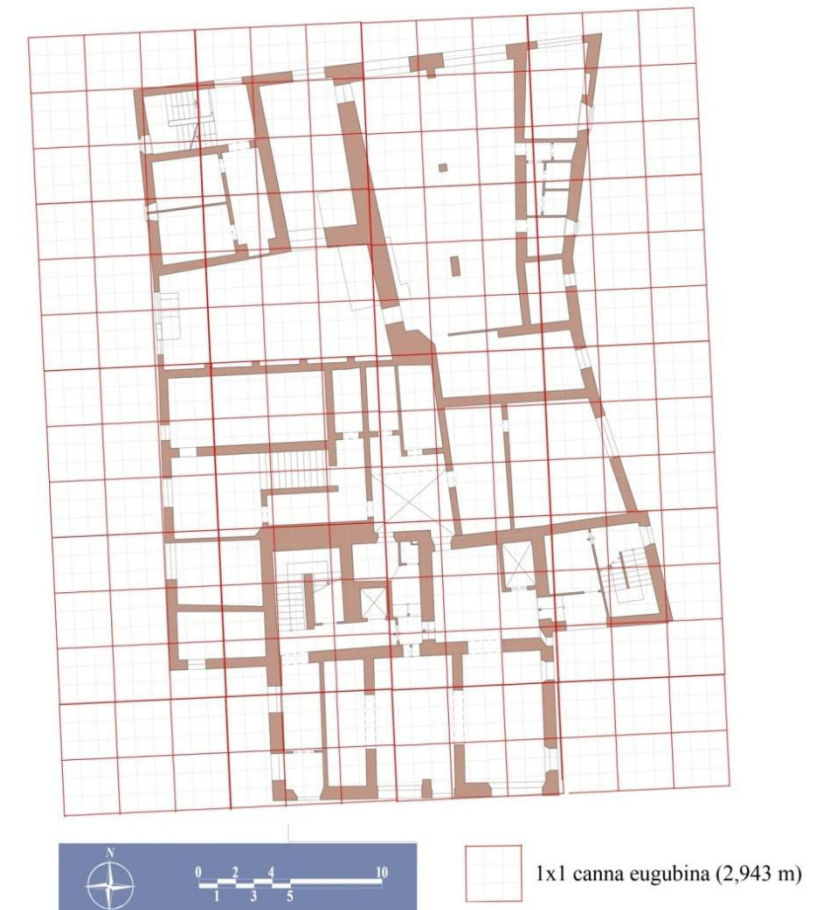
Costruendo una griglia avente come modulo base un quadrato di 1x1 *canna*, è possibile riscontrare la corrispondenza anche con gli aggregati oggetto di studio.

Nel caso di studio dell'aggregato A2, le regole dettate dal rigido reticolo vengono in parte disattese. Questo non deve stupire in quanto l'aggregato viene a svilupparsi inglobando l'originaria cinta muraria cittadina.



Aggregato A2, studio metrologico con riferimento alla unità di misura eugubina, disegno dell'autore

Caso diverso invece, per quanto riguarda l'aggregato A3. Qui, infatti, è perfettamente individuabile la corrispondenza tra maglia reticolare e tessitura muraria, fatto che avvalorava la tesi che il centro storico di Pergola sia stato realizzato a seguito di un disegno urbano ben preciso.



Aggregato A3, studio metrologico con riferimento alla unità di misura eugubina, disegno dell'autore

3.3.3 Disconnessioni in facciata

Di notevole importanza per la ricostruzione della fabbrica dell'aggregato è l'analisi visiva dello stato di fatto. In questo modo infatti, si possono riscontrare in facciata, delle disconnessioni tipiche di edifici giustapposti che si vengono a creare quando i tempi di realizzazione delle due porzioni di aggregato non corrispondono. Il processo di trasformazione della fabbrica può interessare tutto o una parte di aggregato, e permette l'insorgere di problematiche specifiche, collegate all'eterogeneità dei materiali e delle

Aggregati oggetto di studio : processo evolutivo

tecniche costruttive. Nell'ottica della ricerca delle vulnerabilità sismiche degli aggregati, tale fattore risulta essere di elevato interesse, in quanto lungo queste fasce costituiscono un tracciato privilegiato per la formazione delle lesioni.



Aggregato A2, studio disconnessioni in facciata, disegno dell'autore



Aggregato A3, studio disconnessioni di facciata, disegno dell'autore

3.3.4 Ipotesi di evoluzione cronologica

Tramite i dati raccolti in precedenza è possibile fornire un' ipotesi del processo evolutivo degli aggregati oggetto di studio



FASI EVOLUTIVE

- FASE 1 (XIII secolo)
- FASE 2 (XV secolo)
- FASE 3 (XVI secolo)
- FASE 4 (XVII secolo)
- FASE 5 (XX secolo)

Aggregato A2, ipotesi evoluzione in pianta, disegno dell'autore



FASI EVOLUTIVE

- FASE 1 (cellule elementari di profondità tra circa 6 e 8 metri)
- FASE 2 (I rifusione)
- FASE 3 (ampliamento cellule elementari)
- FASE 4 (completamento, intasamento)
- FASE 5 (II rifusione)

Aggregato A3, ipotesi evoluzione in pianta, disegno dell'autore

Note

¹GRUPPO MARCHE, *Relazione generale valutativa, Progetto Preliminare "Restauro e miglioramento sismico chiesa di Sant'Orsola"*, 2001

“La chiesa di s. Orsola e il suo monastero nascono, in origine, come dimore private, facenti parte di uno dei quartieri benestanti della cittadina, d'impostazione medievale. Soddisfacevano, infatti, tutti i requisiti

Aggregati oggetto di studio

dell'abitazione di un ceto sociale piuttosto elevato, che godeva di un certo benessere economico e di una certa sensibilità all'arte.

Alla città di Pergola, oltre al già accennato splendore economico, viene riconosciuta, sin dalla sua origine, anche un'intensa attività religiosa per la presenza di numerosi cenobi maschili e femminili, che contribuirono al progresso della città, alla sua evoluzione sociale, culturale e anche all'espansione economica. [...]

Nel 1626 Madre Paola istituisce anche a Pergola la Confraternita delle devote sotto l'invocazione di S.Orsola. Inizialmente, però, la confraternita non aveva sede fissa ed era costretta a spostarsi continuamente, dove in paese, qualcuna poteva fornirgli asilo.

[...]Il numero delle partecipanti intanto andava crescendo e i locali a disposizione non riuscivano più a soddisfare le necessità della comunità. Grazie al suo prestigio, la Cangiotti riuscì ad ottenere i favori di altri prelati della città, che misero a disposizione la chiesa di S.Marco. [...]

[...]Nel maggio 1640 la Claudi acquistò una casa adiacente al monastero, per farne il tempio monastico: l'attuale chiesa di S.Orsola. iniziarono subito i lavori di trasformazione, che snaturarono l'abitazione medievale a due piani, cercando di impreziosire l'edificio di un apparato decorativo più consono all'architettura religiosa di quest'età tardo barocca.

Il 20 ottobre 1640 la chiesa venne aperta al culto con solenne cerimonia officiata dal vicario vescovile di Pergola e venne dedicata a S.Orsola. nel 1641, la chiesa fu allungata e innalzata, risultando insufficiente a soddisfare le necessità della comunità monacale crescente. [...]

[...]Il convento, in parte eretto sulle antiche mura civiche, è infatti, il frutto di varie integrazioni di edifici di epoche diverse.

Possiamo leggere lo sviluppo del complesso monastico delle Orsoline sia dalle componenti architettoniche sopravvissute al tempo, che dalla documentazione grafica, costituita da piante e vedute della città, che registrano le trasformazioni avvenute nei secoli, anche se non sempre pienamente attendibile.

Segni evidenti dell'originale architettura medievale li troviamo in brani di muratura in pietra, che caratterizza i muri perimetrali dell'edificio, soprattutto nello zoccolo a terra. Al di sotto dello strato d'intonaco scrostato s'intravedono anche archi di pietra tamponati, sia sul fronte principale, che sul fronte interno al cortile, dove in parte sono stati coperti dal corpo adiacente, realizzato successivamente. La tipologia dell'apertura è quella classica del fondaco medievale, visibile in altri palazzi che si affacciano sulla stessa via.

La ricostruzione ipotetica dell'evoluzione della fabbrica in oggetto individua nel nucleo originario solamente la parte anteriore dell'attuale chiesa e l'edificio ad essa collegato sul fianco est, sicuramente, in origine, più basso.

Tali edifici risultavano ben distinti. Intorno al XVI secolo, probabilmente, vennero realizzati i due corpi a ridosso delle mura, inglobando queste ultime nella muratura stessa degli edifici, in linea con lo sviluppo urbanistico di questo periodo.

Quando la dimora privata divenne bene ecclesiastico, furono necessariamente effettuati degli adattamenti e delle trasformazioni. Alcune vedute del XVIII secolo ci mostrano la configurazione della chiesa e del monastero in quei tempi (quadro nel duomo vai a fotografare): si possono distinguere con una certa esattezza i volumi presenti nel XVIII secolo: il corpo longitudinale della chiesa; la zona presbiterale, annessa alla chiesa nel 1641, dopo essere stata elevata per ospitare la cupola (notiamo come il tetto non sia ad unica falda, come allo stato attuale, ma si spezza in corrispondenza dell'abside, per svilupparsi a quota più bassa, come testimoniano ancora oggi i segni sulla muratura.); la parte del convento addossata alla

chiesa (relativamente ai soli piani terra e primo); l'ala conventuale che si sviluppa perpendicolarmente alla navata di s.Orsola, a ridosso delle mura cittadine, verso sud (la presenza di questo corpo è confermata nella carta Coronelli, mentre non compare ancora il corpo orientale). Sono qui evidenti le diverse altezze dei vari fabbricati, tra i quali emerge il volume della chiesa.

Nel '700, in particolare, la prosperità economica della confraternita aveva raggiunto un livello tale da permettere di realizzare diversi lavori nel complesso ecclesiastico, tra cui l'ampliamento del cenobio. Risale a questo periodo la stesura delle facciate interne del cortile e la realizzazione del corpo orientale, come si deduce dal ricco atrio su colonne e dallo scalone monumentale ad est. [...]

[...]Nel 1811 le Marche furono annesse al regno Italico e furono applicate le leggi napoleoniche, secondo le quali dovevano essere soppressi gli ordini religiosi e sciolte le famiglie monastiche. I beni delle orsoline, ormai di una certa entità, furono tutti confiscati. Il monastero fu chiuso.

Con la caduta del Regno Italico, nel 1814, fu ripristinato lo stato pontificio e con esso risorsero gli ordini religiosi.

Nel 1818 la configurazione planimetrica dell'intero complesso doveva apparire del tutto simile a quella attuale, come viene rappresentato nella planimetria catastale tratta dal Catasto Gregoriano. [...]

[...]Nel 1929 alle Orsoline si sostituirono le Sorelle Minime di Carità di Maria Addolorata dette le Campostrini di Verona, che continuarono le attività avviate dall'ordine precedente.

Possiamo supporre che risalga a questo periodo la sopraelevazione dei tre corpi attorno al cortile e le conseguenti trasformazioni interne (realizzazione di nuovi collegamenti verticali per raggiungere il piano secondo, lasciando inalterato lo scalone sul lato est, che collegava i soli primi due piani). [...]

[...]Tra gli anni '80 e '90 il convento venne ristrutturato e adibito a casa di riposo per anziani, mentre la chiesa, ormai da un decennio chiusa al culto, rimase inutilizzata.

Prima dei restauri degli anni '80, l'intonaco scrostato lasciava intravedere, nel cortile interno, i segni di un arco tamponato sul corpo B, in successione a quelli esistenti, che veniva interrotto bruscamente dal corpetto basso "F": evidente era quindi la realizzazione postuma di quest'ultimo rispetto al primo. Visibili sono anche i segni della sopraelevazione del secondo piano: le facciate che prospettano sul cortile interno hanno un trattamento diverso ai primi due piani (di stile settecentesco) rispetto all'ultimo, all'interno le scale originali collegavano solo i primi due piani.

Bibliografia

CECINI N., *Pergola lettura della città e del territorio*, Pergola 1982, pp.96

BALDELLI M., ORADEI A., *Giovan Francesco Ferri di Pergola*, Bologna 1993, pp.78-79

Tesi consultate

STELLA E., *La vulnerabilità degli aggregati storici analizzata a partire dalla caratterizzazione costruttiva: il caso di studio del centro storico di Lanciano*, A.A. 2013/2014

GAROFOLINI L., *Urbanistica e architettura del medioevo nelle Marche. Sedi civili e degli ordini mendicanti tra il 1270 e il 1300*, A.A. 1993/1994

ALBONICO A., ALBONICO A., *Castrum Collis Pergulae, una città di fondazione medievale nelle marche*, A.A. 1994/199

4 Vulnerabilità e cinematismi di collasso

4.1 Vulnerabilità

4.1.1 Cenni sulle caratteristiche delle strutture in muratura

Le strutture in muratura, che caratterizzano la maggior parte dei centri storici italiani, presentano spesso tipologie e tecniche costruttive anche molto diverse tra loro. Ecco, allora, come il lavoro svolto sin' ora risulta estremamente importante per la definizione del comportamento strutturale e la valutazione della sicurezza degli aggregati .

Si ricordi che le costruzioni in muratura storica sono realizzate tramite un approccio intuitivo basato perlopiù sui principi dell'equilibrio del corpo rigido, e sull'osservazione di strutture già realizzate; il tutto per arrivare ad un livello di esperienza tale da essere definito "a regola d'arte". Sebbene l'edilizia storica non sia realizzata sulla base dei principi della meccanica dei materiali e delle strutture, il riconoscere una costruzione come realizzata a regola d'arte, permette di escludere, in prima battuta, alcuni meccanismi di danno.

La muratura è un materiale composito realizzato da elementi di tipo naturale, come pietre, o artificiale, come laterizi. Le tipologie possono variare a seconda di:

1. materiale utilizzato (pietra, laterizio, misto pietra-laterizio)
2. tessitura: disposizione geometrica degli elementi nel paramento murario
3. dimensioni e forma degli elementi
4. tipologia di assemblaggio (malta, a secco)

Ovviamente le caratteristiche meccaniche di un paramento murario sono influenzate dalla totalità delle variabili descritte.

Nella muratura gli elementi sono disposti per strati successivi, in genere ad andamento orizzontale, ciò determina la formazione di giunti principali continui e di giunti secondari, al contatto tra due elementi adiacenti, discontinui in quanto opportunamente sfalsati (ingranamento). L'andamento dei giunti principale è in genere ortogonale alle sollecitazioni di compressione prevalenti, al fine di ottimizzare il comportamento della struttura sotto carichi di esercizio. Tuttavia, i giunti principali, diventano potenziali piani

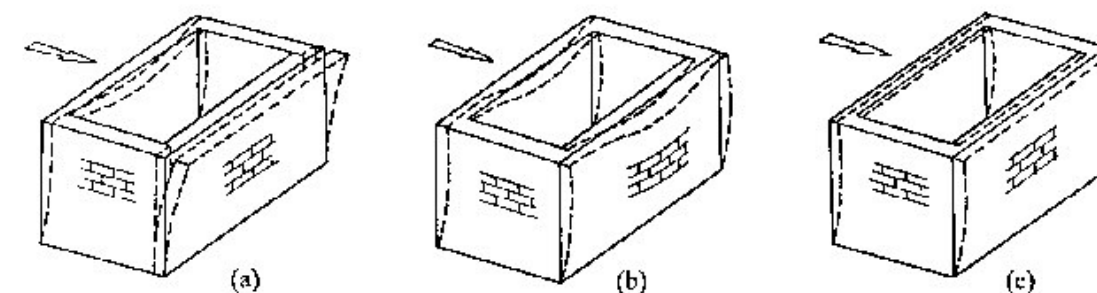
*di discontinuità, con conseguenze sulla resistenza del solido murario, in presenza di sollecitazioni di trazione e taglio dovute all'azione sismica.*¹

Come detto la risposta sismica di un aggregato, quindi l'individuazione delle vulnerabilità, non dipende solo dal tipo di materiale utilizzato, ma anche dai diversi aspetti tecnologici riscontrabili e soprattutto dai collegamenti tra gli elementi strutturali.

Il buon comportamento di una costruzione in muratura sotto sisma si esplica attraverso il raggiungimento di un funzionamento scatolare.

La capacità di resistere alle azioni orizzontali deve essere affidata ad un sistema di pareti verticali (di taglio) disposte nelle due direzioni principali della pianta dell'edificio. Attraverso idonei collegamenti tra di esse e con i solai e la copertura possono essere ridotti i meccanismi di ribaltamento fuori del piano delle pareti e deve essere consentita una partecipazione d'insieme dei setti murari nella risposta sismica.

Presupposto essenziale per il funzionamento scatolare è il fatto che la muratura sia realizzata a regola d'arte e con materiali di qualità tale da non subire fenomeni di disgregazione. Quanto detto deriva principalmente dal fatto che la muratura, possedendo una ridotta o nulla resistenza a trazione, denota una scarsa resistenza alle azioni perpendicolari al suo piano, quando la parete è isolata; è necessario quindi collegarla efficacemente alle pareti ortogonali in modo da trasferire ad esse le azioni indotte dal sisma.



Variazione del comportamento strutturale indotta dal diverso grado di collegamento tra le pareti: (a) pareti non vincolate o ammorsate; (b) pareti ammorsate con orizzontamenti flessibili; (c) pareti ammorsate con orizzontamenti rigidi, G. Cangi [2005]

Il caso degli aggregati edilizi storici, spesso sfugge da questo tipo di meccanismo, in quanto la sua conformazione ultima risulta dall'assemblaggio di più unità strutturali realizzate con diversi materiali, diverse tecniche costruttive e in tempi anche molto lontani

tra loro. Da immagini di danni avvenuti su strutture murarie, si può notare che il sisma non disintegra in modo disordinato le case, ma seleziona le parti strutturali e le soluzioni tecnologiche più deboli provocando danni e collassi mediante meccanismi definibili in anticipo. A differenza di quanto avviene negli edifici concepiti e costruiti come un'unica struttura continua – gli edifici moderni in acciaio o in cemento armato –, la mancanza di connessioni tra le parti che caratterizzano le costruzioni in muratura permette il verificarsi di collassi parziali. Solo la parte più debole della costruzione cede al sisma, senza trascinare con sé le porzioni adiacenti².

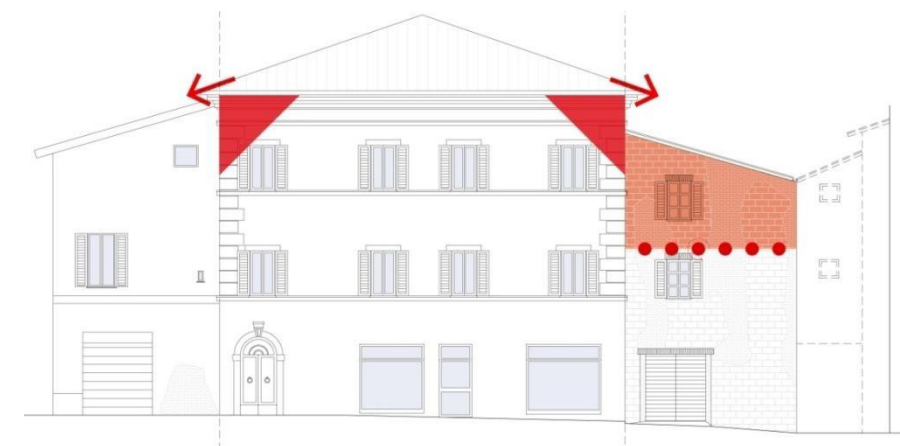
Si procede di seguito con l'individuazione delle principali vulnerabilità sismiche riscontrabili in aggregati edilizi storici:

1. sopraelevazioni
2. rifusione di prospetti
3. mancanza di ammorsamenti
4. coperture rigide
5. coperture spingenti
6. vulnerabilità a taglio
7. edifici in c.a. addossati ad edifici in muratura
8. vulnerabilità tipiche di edifici chiesastici.

4.1.2 Sopraelevazioni

Nei centri storici italiani non è raro osservare, anche ad occhio nudo vista la diversità dei materiali utilizzati, la presenza di discontinuità tra i primi due piani in alzato (presenti generalmente sin dalla costruzione della cellula base) e quelli successivi. La fascia in corrispondenza di questa discontinuità è tracciato privilegiato per la formazione di cerniere di ribaltamento della porzione superiore dei prospetti. Inoltre l'incremento del peso può innescare problematiche legate al sovraccarico delle pareti perimetrali, non progettate inizialmente per sostenere altri piani in alzato.

Nel caso oggetto di studio sono state considerate sopraelevate le porzioni di prospetto, qualora non soggette a rifusioni, che superano il secondo livello, ipotizzando che in una fase originaria le case fossero costituite da piano terra e piano primo.



Sopraelevazione in edificio in via Goffredo Mameli (isolato A3, Pergola), disegno dell'autore

4.1.3 Rifusione di prospetti

È consuetudine riscontrare, nell'edilizia dei centri storici, un trattamento unitario dei prospetti sui fronti stradali. Questo spesso non è frutto di interventi unitari che vedono la costruzione simultanea dei tessuti murari interni e delle pareti perimetrali. Il più delle volte si assiste alla demolizione delle murature esterne preesistenti per far posto alla facciata del palazzo che si ritrova semplicemente accostata alle pareti ortogonali interne ed alle facciate delle cellule adiacenti con il rischio della formazione di cerniere orizzontali alla base della nuova muratura.

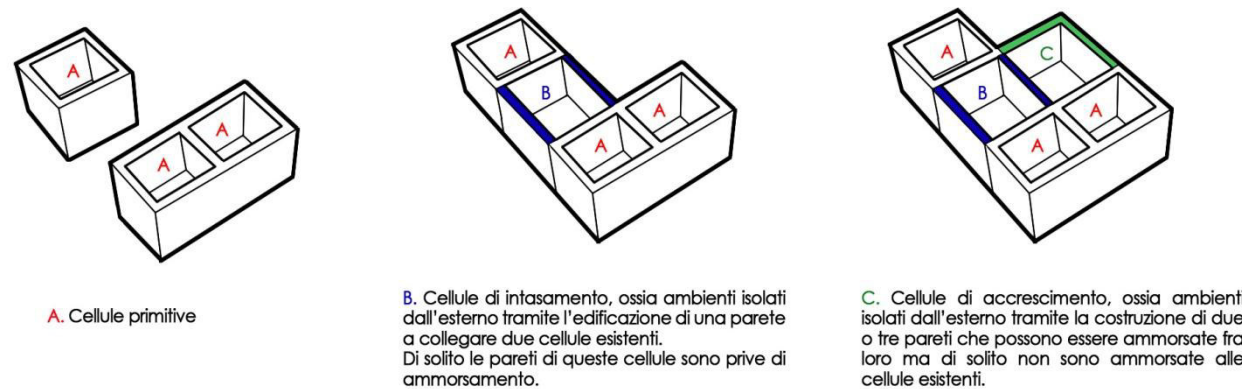


Rifusione in edificio in via Cavour, (isolato A3, Pergola), disegno dell'autore

4.1.4 Mancanza di ammorsamenti

Gli aggregati edilizi urbani che hanno subito nel tempo modificazioni significative, spesso presentano l'insorgere del problema dovuto al mancato ammorsamento delle unità

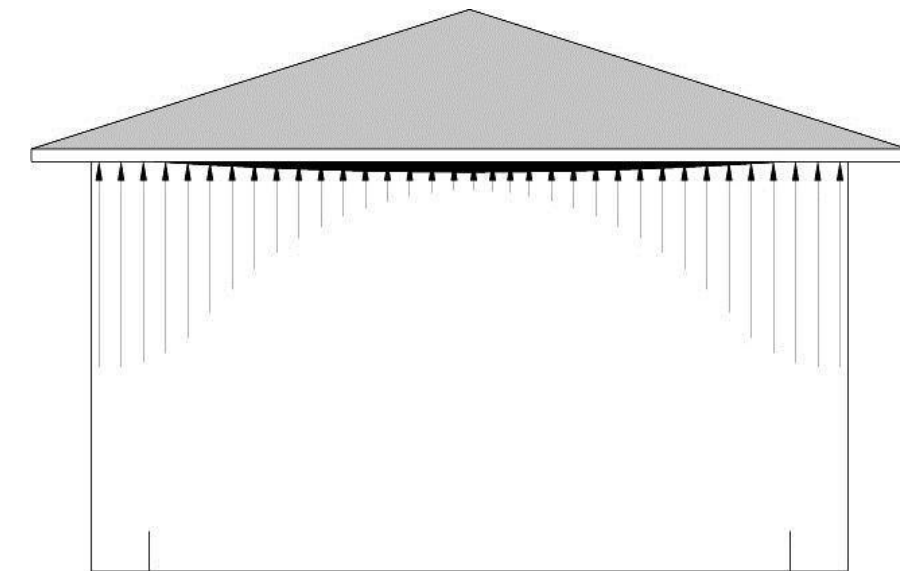
strutturali. L'addossamento per semplice accostamento di nuovi corpi di fabbrica determina in caso di azione sismica uno scorrimento tra le due diverse parti, con separazione delle stesse in corrispondenza dell'interfaccia d'appoggio. Il mancato idoneo grado di ammortamento tra le diverse unità strutturali della fabbrica, rintracciabile nei meccanismi di accrescimento di ogni singolo aggregato, che si sviluppa generalmente per intasamento e apposizione, non permette di sviluppare il comportamento scatolare con conseguente innesco di fenomeni di ribaltamento parziale o totale delle facciate.



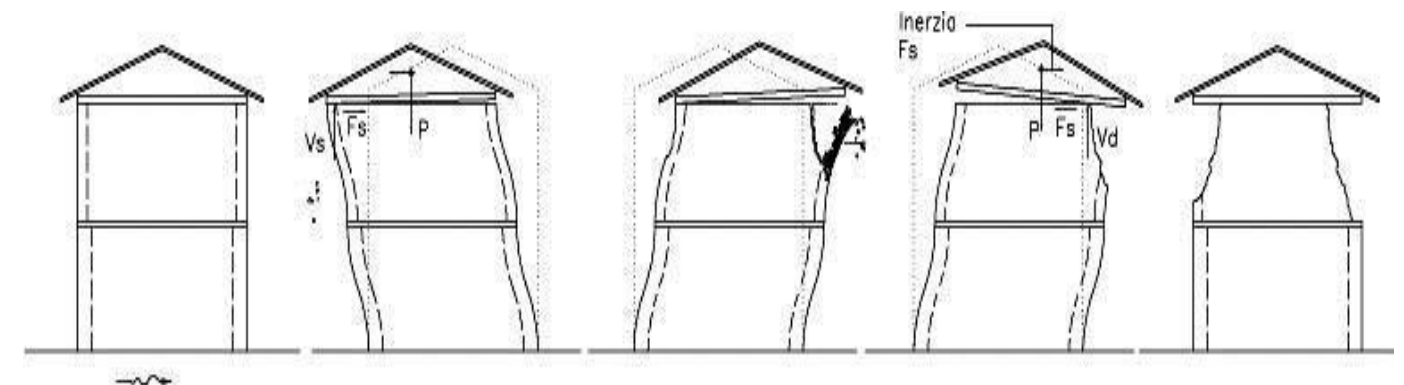
Meccanismi di accrescimento dell'aggregato edilizio urbano

4.1.5 Coperture rigide

Intorno agli anni settanta era pratica comune sostituire i solai in legno con strutture in latero – cemento. le nuove caratteristiche di resistenza e l'eccessiva rigidezza di questi solai rendeva del tutto incompatibili le nuove coperture con le murature tradizionali inducendo comportamenti anomali ed imprevedibili. Inoltre non si tenevano in considerazione gli effetti “secondari” quali, ad esempio, l'effetto trave: il cordolo, che dovrebbe distribuire i carichi in modo uniforme sulla muratura sottostante, si trova invece a trasmettere azioni concentrate alle estremità andando a scaricare la muratura che, a qual punto, tende a ribaltarsi come se fosse un muro isolato.



Effetto trave dei cordoli in cemento armato. Distribuzione disomogenea delle tensioni sulla muratura, G. Cangi [2005]



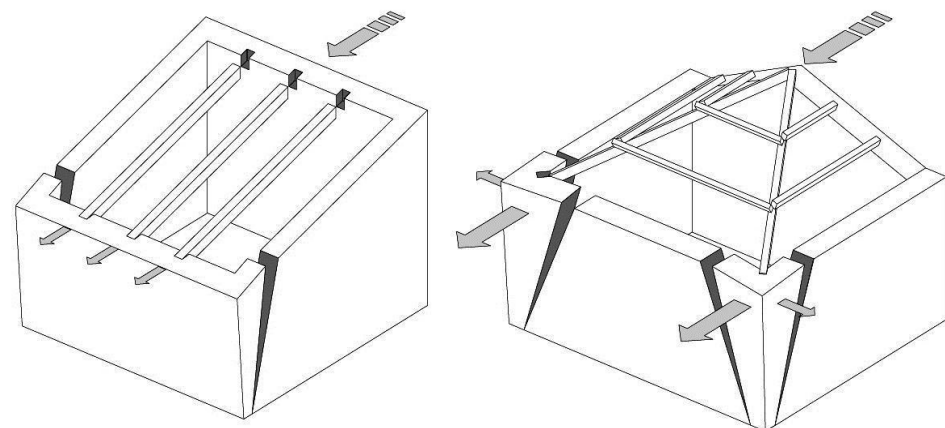
Fasi dell'effetto sismico dinamico sulle pareti sommitali in presenza di coperture rigide che per inerzia del tetto tendono a sollevarsi dalla parete sottostante che viene così completamente scaricata, G. Cangi [2005]

4.1.6 Coperture spingenti

Una struttura si considera spingente se, sotto l'azione di carichi verticali, trasmette ai propri vincoli esterni azioni orizzontali, ovvero “spinte” che devono essere contrastate dalle strutture inferiori sulle quali si trasmettono i carichi di copertura. Quindi, le coperture saranno spingenti se esse applicano forze orizzontali ortogonali alle pareti su cui si appoggiano, per effetto dei soli carichi verticali.

Nell'edilizia storica non è frequente incorrere in queste tipologie di coperture, ma a volte non si può prescindere dall'utilizzare soluzioni che inducono dei meccanismi di ribaltamento. È il caso, ad esempio, delle coperture a falda unica con orditura di travi di

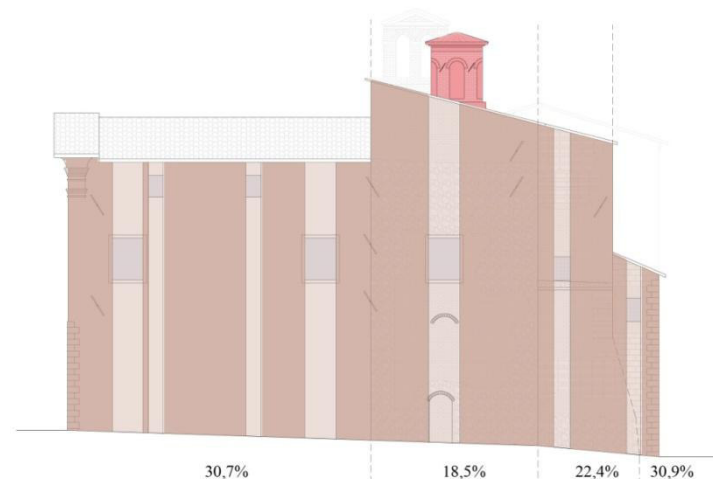
falda inclinate che collegano pareti ad altezze differenti, oppure situazioni d'angolo nelle coperture a padiglione dove si deve ricorrere a puntoni inclinati.



Meccanismi di collasso fuori piano favoriti da coperture spingenti: martellamento delle travi di falda (viene esercitata una azione spingente localizzata in ciascun punto di appoggio lungo la muratura.); martellamento delle travi d'angolo, G. Cangi [2005]

4.1.7 Vulnerabilità a taglio

Si è detto in precedenza che l'edificio in muratura può essere considerato come una scatola formata da quattro lati e che la risposta migliore che può offrire è quella chiamata comportamento scatolare. Questo comportamento può essere severamente messo a rischio dalla presenza eccessiva di foratura sulle facciate, o dal disallineamento delle stesse. La crisi si genera a seguito del superamento della resistenza allo scorrimento tra malta ed elementi lapidei e il meccanismo di manifesta con le classiche lesioni diagonali. La vulnerabilità a taglio viene calcolata mettendo in rapporto le fasce resistenti di facciata, chiamate maschi murari continui, e le fasce deboli.



Individuazione dei maschi murari resistenti e delle fasce deboli in edificio in via Giannini (isolato A2, Pergola), disegno dell'autore

4.1.8 Edifici in c.a. addossati ad edifici in muratura

Nei centri storici italiani si può assistere alla presenza di edifici in cemento armato, frutto di realizzazioni moderne, in adiacenza a strutture tipiche in muratura.

Quando queste strutture sono sottoposte all'azione sismica tendono a collidere l'una contro l'altra a causa della diversa risposta dei materiali da costruzione, innescando dei fenomeni di martellamento reciproco.

L'intensità e il numero di contatti dipendono da molteplici fattori, tra cui principalmente il periodo proprio delle strutture coinvolte e la loro distanza reciproca.

4.1.9 Vulnerabilità tipiche di edificio chiesastico

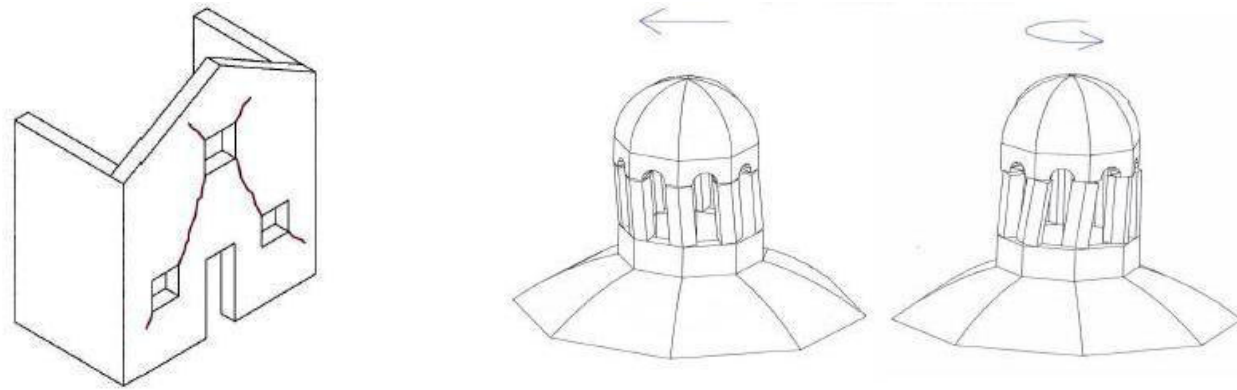
Nel caso di studio proposto, ci si è dovuti confrontare con una tipologia specialistica, nella fattispecie un edificio chiesastico. Quando si analizzano le vulnerabilità connesse a questi tipi di edifici bisogna tenere in considerazione alcuni fattori specialistici di cui non ci si occupa nello studio delle tipologie abitative classiche.

Si riportano di seguito le vulnerabilità prese in considerazione nel processo di analisi dell'aggregato A2.

4.1.9.1 Vulnerabilità a taglio della facciata e degli aggetti

Nell'ottica dell'individuazione delle vulnerabilità connesse alle azioni di taglio, vengono considerate vulnerabili l'intera facciata principale della chiesa, in quanto risulta essere un elemento trasformato più volte con la presenza di numerose tamponature, dovute al cambiamento di destinazione d'uso. La facciata inoltre è un elemento di elevata snellezza in quanto non sono presenti all'interno solai intermedi.

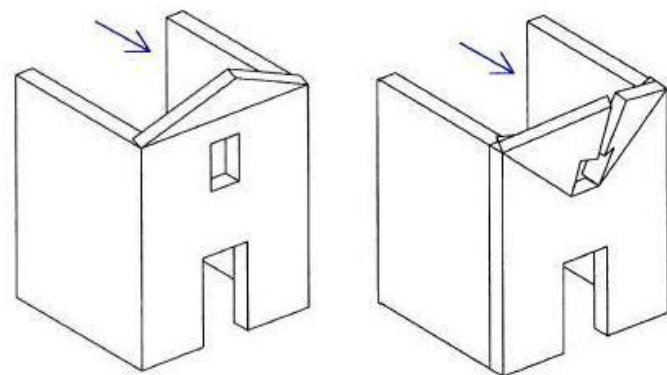
Anche gli aggetti come la lanterna è stata considerata come elemento interamente vulnerabile a taglio. Anche se, in occasione della messa in sicurezza da parte del "Gruppo Marche", sono state inserite catene, queste non risultano efficaci a limitare i danni causati dalle sollecitazioni di taglio.



Meccanismi di danno innescati dalle sollecitazioni a taglio e torsione su elementi caratteristici delle chiese, Allegato C, NTC2008

4.1.9.2 Timpano di facciata

Tipica vulnerabilità che caratterizza gli edifici come le chiese è quella connessa alla parte superiore della facciata principale. Questo tipo di vulnerabilità innesca meccanismi di ribaltamento del timpano di facciata.



Meccanismo di ribaltamento del timpano, Allegato C, NTC2008

4.1.9.3 Comportamento di archi, volte e cupole

Negli edifici di genere chiesistico sono presenti archi, volte e cupole che possono, innescare sotto l'azione sismica, sistemi di spinte pericolosi e meccanismi di collasso molto dannosi. Nel caso oggetto di studio, in seguito al miglioramento sismico apportato dal "Gruppo Marche" nel 2001, i meccanismi connessi a questi macroelementi sono stati efficacemente scongiurati con l'inserimento di catene e tiranti.

4.2 Cinematismi di collasso

Il D.M. Infrastrutture 14 gennaio 2008 e la relativa Circolare 2 febbraio 2009 n. 617, al Punto C8.7.1.1 riguardante gli edifici esistenti, indicano che la valutazione della sicurezza sismica degli edifici in muratura va eseguita, oltre che con riferimento al comportamento sismico globale, anche con riferimento all'analisi dei meccanismi locali di collasso. "Quando la costruzione non manifesta un chiaro comportamento d'insieme, ma piuttosto tende a reagire al sisma come un insieme di sottosistemi (meccanismi locali), la verifica su un modello globale non ha rispondenza rispetto al suo effettivo comportamento sismico. In tali casi la verifica globale può essere effettuata attraverso un insieme esaustivo di verifiche locali."

Le strutture in muratura possono essere considerate suddivisibile in porzioni monolitiche (cioè che non si disgregano a loro volta) dette macroelementi. Essi si muovono reciprocamente sotto l'azione sismica (e statica) e il loro moto, durante l'azione sismica, definisce il cinematismo di collasso.

I meccanismi di collasso possono essere indotti da due tipologie di danno:

1. *I modo di danno* per cui le murature d'ambito vanno a distaccarsi dalle pareti interne ad esse ortogonali, per poi farle ribaltare. Principale protagonista del dissesto non è la resistenza della muratura, ma la mancanza di connessioni.

Il primo modo di danno può provocare i seguenti meccanismi di collasso:

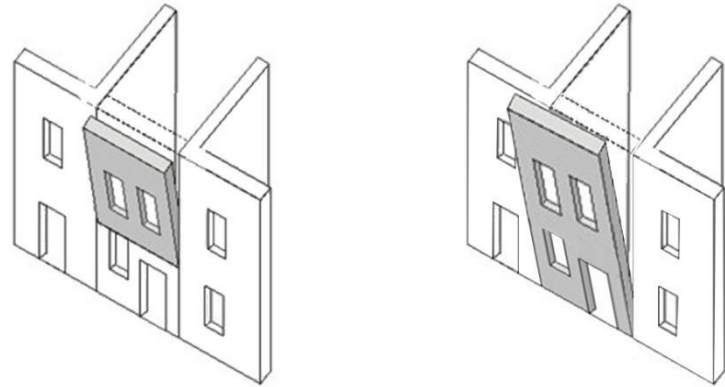
I. Ribaltamento semplice

Il meccanismo si manifesta attraverso la rotazione rigida di intere facciate o porzioni di pareti rispetto ad assi in prevalenza orizzontali alla base di esse e che percorrono la struttura muraria sollecitata da azioni fuori dal piano.

Il ribaltamento può coinvolgere:

- uno o più livelli della parete, in relazione alla presenza di collegamento ai diversi orizzontamenti;
- l'intero spessore del muro o il solo paramento esterno, in relazione alle caratteristiche della struttura muraria (a sacco, carenza di diatoni);

- diverse geometrie della parete, in relazione alla presenza di discontinuità o di aperture.

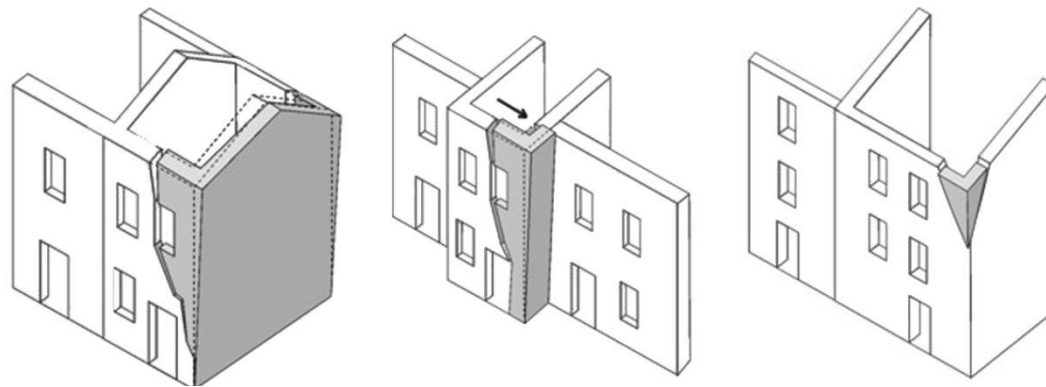


Schematizzazione del meccanismo di collasso per ribaltamento semplice, disegno dell'autore

II. ribaltamento composto

Il meccanismo si manifesta attraverso la rotazione rigida di intere facciate o porzioni di pareti rispetto ad assi in prevalenza orizzontali accompagnata dal trascinarsi di parti delle strutture murarie appartenenti alle pareti di controvento. Il ribaltamento composto può coinvolgere:

- uno o più livelli della parete, in relazione alla presenza di collegamento ai diversi orizzontamenti;
- diverse geometrie del macroelemento, in relazione alla qualità della muratura della parete di controvento ed alla presenza di aperture nella stessa, nonché alla tipologia degli orizzontamenti sovrastanti (se rigidi si possono definire cunei di distacco a doppia diagonale).

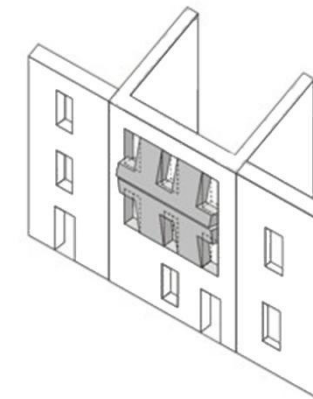


Schematizzazione del meccanismo di collasso per ribaltamento composto, disegno dell'autore

III. flessione verticale

Il meccanismo si manifesta con formazione di una cerniera cilindrica orizzontale che divide la parete in due blocchi ed è descritto dalla rotazione reciproca degli stessi attorno a tale asse per azioni fuori dal piano. La flessione verticale può coinvolgere:

- uno o più livelli della parete, in relazione alla presenza di collegamento ai diversi orizzontamenti;
- l'intero spessore del muro o il solo paramento esterno, in relazione alle caratteristiche della struttura muraria;
- diverse geometrie della parete, in relazione alla presenza di discontinuità o di aperture e spinte localizzate sulla parete.

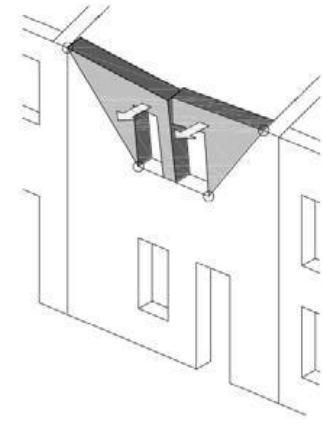


Schematizzazione del meccanismo di collasso per flessione verticale, disegno dell'autore

IV. flessione orizzontale

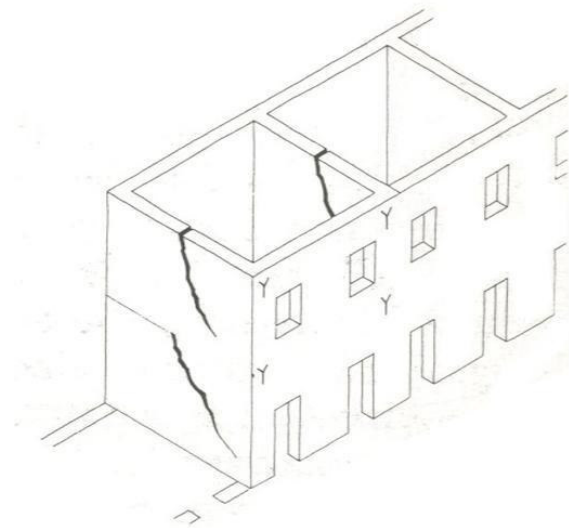
Il meccanismo si manifesta con l'espulsione di materiale dalla zona sommitale della parete e col distacco di corpi cuneiformi accompagnato dalla formazione di cerniere cilindriche oblique e verticali per azioni fuori dal piano. La flessione orizzontale può coinvolgere:

- l'intero spessore del muro o il solo paramento esterno, in relazione alle caratteristiche della struttura muraria;
- diverse geometrie della parete, in relazione alla presenza di discontinuità o di aperture ed alla qualità della muratura.



Schematizzazione del meccanismo di collasso per flessione orizzontale, disegno dell'autore

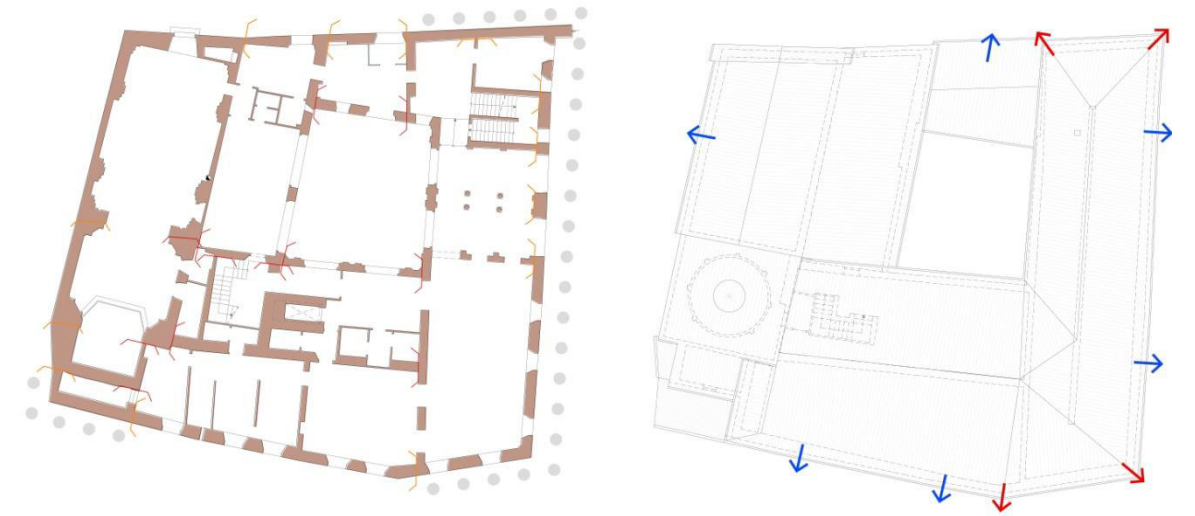
2. Il modo di danno per cui le azioni orizzontali si riversano sulle murature trasversali; i muri ortogonali presentano una resistenza notevolmente superiore, poiché offrono la loro dimensione maggiore all'eccentricità dell'azione che li sollecita. Questo meccanismo di danno è fortemente caratterizzato dalla resistenza propria della muratura e raramente tali dislocazioni producono il collasso totale della struttura.



Schematizzazioni delle lesioni tipiche del II modo di danno

4.3 Individuazione delle vulnerabilità e dei meccanismi di collasso negli aggregati oggetto di studio

4.3.1 Aggregato A2



LEGENDA

- DISCONNESSIONI MURARIE
- FACCIATE RIFUSE
- ROMPISTRATA/COPERTURE SPINGENTI
- DIAGONALI SPINGENTI
- DISCONNESSIONI MURARIE ESTERNE NON CONSIDERATE AI FINI DEL CALCOLO DELLE DISCONNESSIONI EFFETTIVE

Vulnerabilità in pianta: disconnessioni murarie, facciate rifuse, coperture spingenti, disegno dell'autore

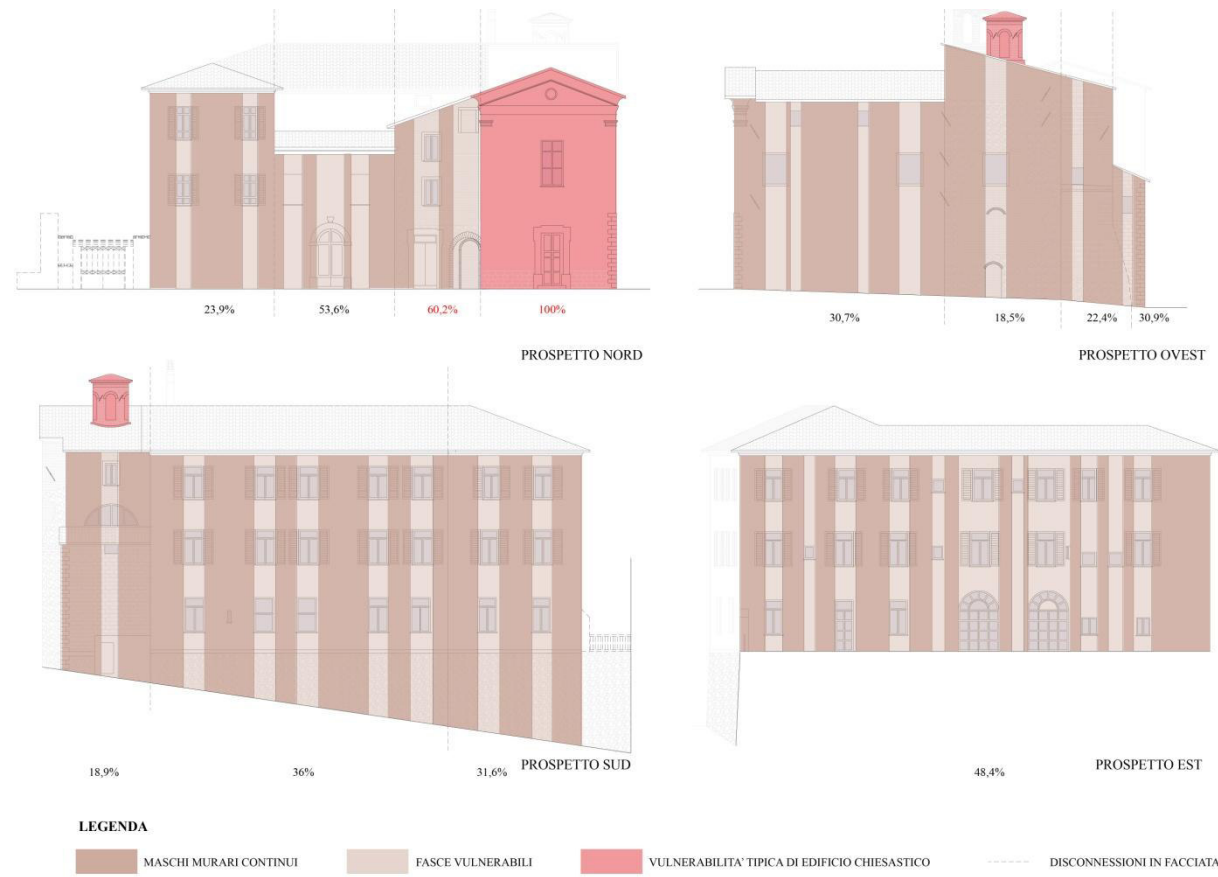


LEGENDA

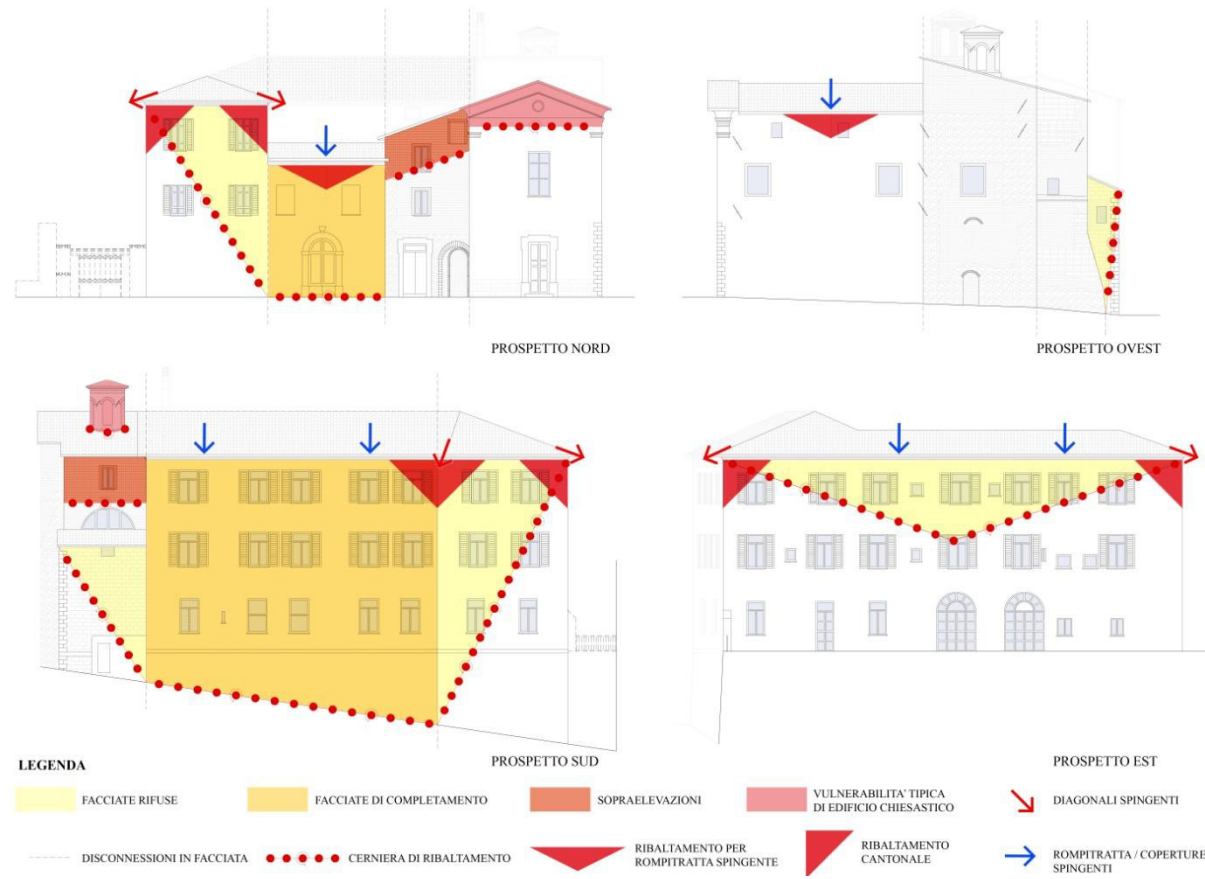
- MURI IN FALSO
- AREA VULNERABILE
- TRAMEZZI IN FALSO NON RILEVANTI AI FINI DEL CALCOLO DELLA VULNERABILITA'

Vulnerabilità in pianta: muri in falso, disegno dell'autore

4.3.2 Aggregato A3



Vulnerabilità in facciata, disegno dell'autore



Vulnerabilità in facciata, disegno dell'autore

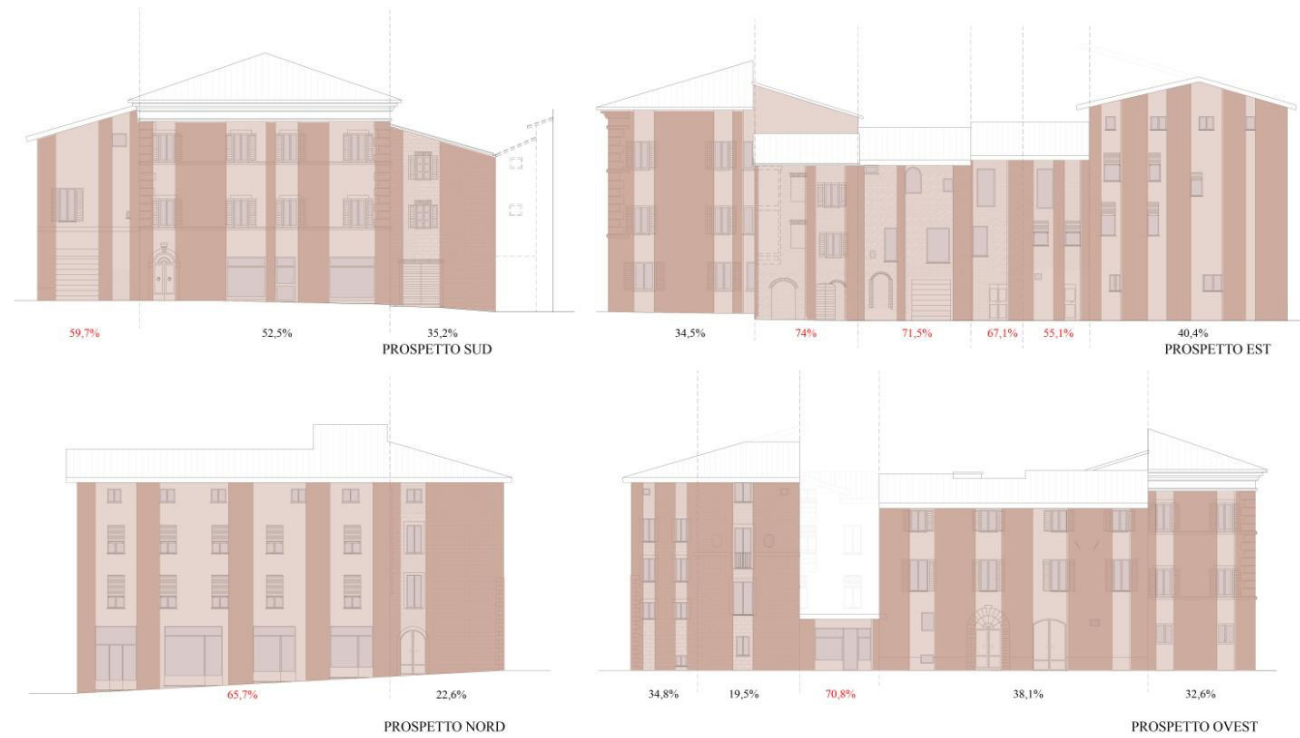


Vulnerabilità in pianta: disconnessioni murarie, facciate rifuse, coperture spingenti, disegno dell'autore



Vulnerabilità in pianta: muri in falso, disegno dell'autore

Vulnerabilità e cinematismi di collasso



LEGENDA
 MASCHI MURARI CONTINUI FASCE VULNERABILI DISCONNESSIONI IN FACCIATA

Vulnerabilità in facciata, disegno dell'autore



LEGENDA
 FACCIATE RIFUSE FACCIATE DI COMPLEMENTAMENTO SOPRAELEVAZIONI DIAGONALI SPINGENTI
 DISCONNESSIONI IN FACCIATA CERNIERA DI RIBALTAMENTO RIBALTAMENTO PER ROMPIRATTA SPINGENTE RIBALTAMENTO CANTONALE ROMPIRATTA SPINGENTE

Vulnerabilità in facciata, disegno dell'autore

Note

¹Ministero per i Beni e le Attività Culturali, *Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*, Gangemi Editore, 2006

²GIUFFRÈ A., *Sicurezza e conservazione dei centri storici. Il caso di ortigia*, Bari, Editori Laterza, 2000, pp. 133

Bibliografia

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, *Norme tecniche per le costruzioni*, Roma, 2008

GIUFFRÈ A., *Sicurezza e conservazione dei centri storici. Il caso di Ortigia*, Bari, Editori Laterza, 2000

GULLI R., *Il recupero edilizio in ambito sismico*, Monfalcone, EdicomEdizioni, 2012

CANGI G., *Manuale del recupero strutturale e antisismico*, Roma, DEI, 2005

Tesi consultate

STELLA E., *La vulnerabilità degli aggregati storici analizzata a partire dalla caratterizzazione costruttiva: il caso di studio del centro storico di Lanciano*, A.A. 2013/2014

5 Valutazione della vulnerabilità sismica: metodo analitico

Il lavoro sin ora svolto, inerente alla raccolta di tutte le informazioni relative agli aggregati edilizi, quindi, il rilievo geometrico, l'analisi storico-evolutiva, l'individuazione delle vulnerabilità in pianta e in facciata e i relativi meccanismi di danno, viene espresso, nell'ambito della valutazione analitica, tramite degli indici di riferimento che mettono in rapporto la quantità caratteristica, ritenuta vulnerabile sotto l'azione di un determinato carico, con la quantità totale considerata.

5.1 Indici di vulnerabilità

Gli indici considerati per la valutazione analitica sono:

1. Indice di disconnessione muraria (DM)
2. Indice di ribaltamento delle facciate (RF)
3. Indice di ribaltamento del timpano (RT)
4. Indice di lesione da falsi puntoni (LP)
5. Indice di vulnerabilità a taglio (VT)
6. Indice di martellamento da solai sfalsati (MSS)
7. Indice di martellamento da cemento armato (MCA)
8. Indice di vulnerabilità da muri in falso (MF)

5.1.1 Indice di disconnessione muraria (DM)

Con questo indice viene valutata la presenza all'interno di un aggregato delle disconnessioni murarie.

Lo studio dell'evoluzione della fabbrica e l'analisi delle disconnessioni in facciata permettono di individuare quali porzioni di aggregato si sono sviluppate in seguito alle altre, e, di conseguenza, permettono di capire se sono presenti in pianta paramenti murari che risultino semplicemente appoggiati a quelli vicini.

L'indice di disconnessione muraria viene calcolato mettendo in rapporto il numero di disconnessioni effettivamente presenti nell'aggregato (fatta eccezione per quelle riscontrate sui muri perimetrali. Questo in quanto, in passato, tenendo conto anche, per esempio, delle rifusioni di facciata, si ottenevano degli indici di disconnessione muraria molto elevati, e poco affini alla realtà dei fatti), con le disconnessioni potenziali, secondo la formula:

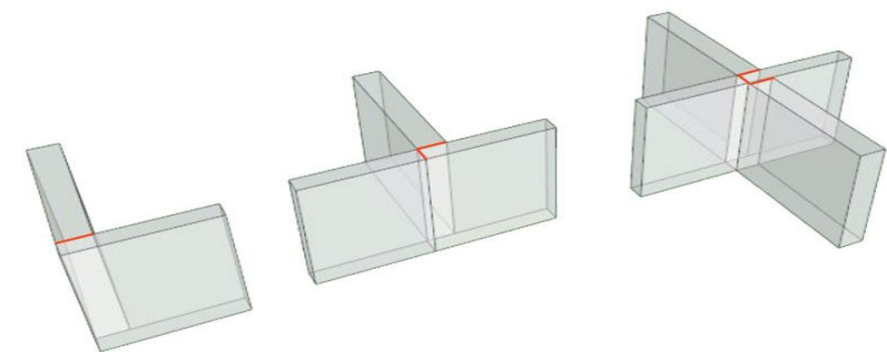
$$DM = \frac{n_{dis.eff}}{n_{dis.pot}}$$

dove:

- $n_{dis.eff}$: numero delle disconnessioni effettivamente presenti in un aggregato;
- $n_{dis.pot}$: numero delle disconnessioni potenzialmente presenti in un aggregato.

Le disconnessioni potenziali si calcolano nel seguente modo:

- $n=1$ se nel nodo afferiscono due pareti;
- $n=2$ se nel nodo afferiscono tre pareti;
- $n=3$ se nel nodo afferiscono quattro pareti.



Indice di disconnessione muraria, disegno dell'autore

5.1.2 indice di ribaltamento delle facciate (RF)

Il meccanismo di ribaltamento consiste in una rotazione rigida attorno ad una cerniera cilindrica posta alla base della porzione di parete coinvolta. Esso si attiva per effetto di azioni sismiche fuori dal piano ed è favorita dall'assenza di connessioni con le pareti ortogonali e dalla mancanza di collegamenti in testa alla catena cinematica, come cordoli o catene.

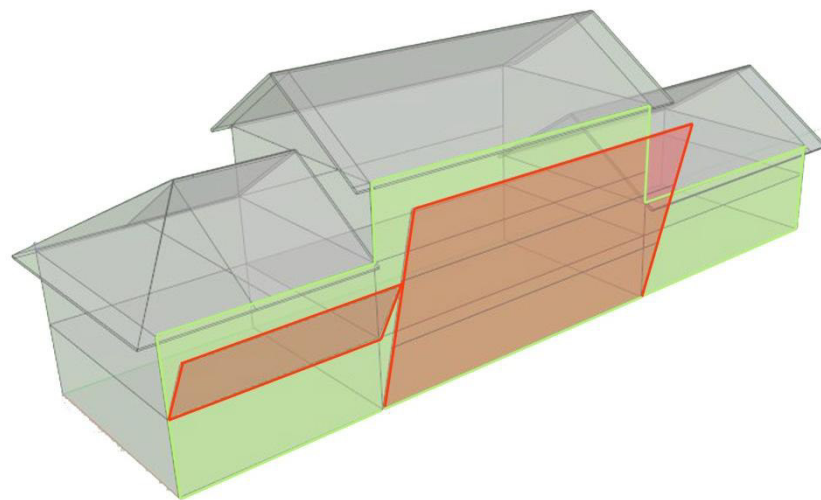
L'indice prende in considerazione diverse tipologie di vulnerabilità: facciate rifuse, sopraelevazioni, facciate di completamento, mancanza di ammorsamenti; tutti elementi che concorrono all'innescarsi del fenomeno di ribaltamento.

L'indice di ribaltamento delle facciate viene calcolato mettendo in rapporto la superficie ribaltabile con la superficie totale, secondo la formula:

$$RF = \frac{\sum_i S_{rib,i}}{S_{tot}}$$

dove:

- $S_{rib,i}$: superficie ribaltabile i-esima;
- S_{tot} : superficie totale della facciata.



Indice di ribaltamento delle facciate, disegno dell'autore

5.1.3 Indice di ribaltamento del timpano (RT)

Il meccanismo di ribaltamento del timpano si può innescare qual'ora vi siano in prospetto delle grandi differenze tra le altezze di gronda.

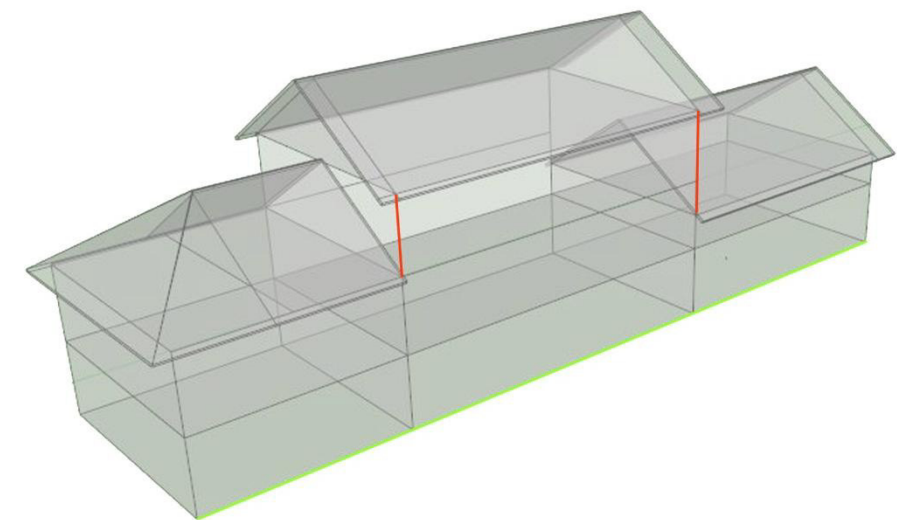
L'indice di ribaltamento del timpano, quindi, oltre a fornire informazioni sulla percentuale di vulnerabilità in tal senso, permette anche di avere una visione sommaria del livello di disomogeneità in altezza dei fronti strada degli aggregati.

L'indice viene calcolato mettendo in rapporto la somma delle differenze di quota tra le linee dei colmi e delle gronde degli edifici adiacenti (viene preso in considerazione solo se tale lunghezza è superiore ad 1,5m) con lunghezza totale del fronte, secondo la formula:

$$RT = \frac{\sum_i h_i}{L_{tot}}$$

dove:

- h_i : differenza di quota tra edifici adiacenti (con $h_i \geq 1,5m$);
- L_{tot} : lunghezza totale della facciata.



Indice di ribaltamento del timpano, disegno dell'autore

5.1.4 Indice di lesione da falsi puntoni (LP)

Il meccanismo di lesione da falsi puntoni si innesca quando sono presenti coperture del tipo a padiglione, che prevedono l'utilizzo di diagonali agli angoli, oppure luci molto ampie (generalmente superiori a 6 metri), che prevedono l'inserimento di rompi tratta nell'orditura principale. Nella fattispecie diagonali e rompi tratta risultano spingenti nei confronti della parete esterna.

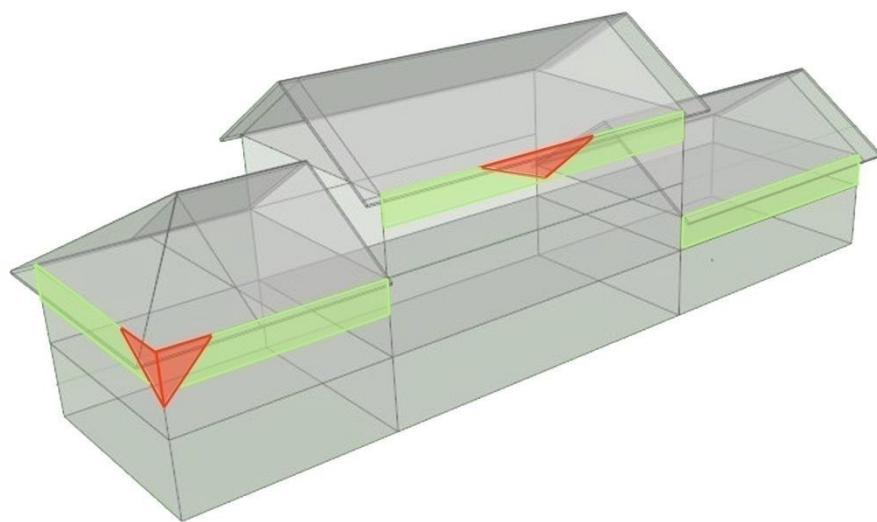
La lesione interessa porzioni di superficie triangolari: nel caso dei diagonali spingenti si considerano triangoli con cateti lunghi 3 metri, mentre nel caso dei rompitratta spingenti si considerano triangoli di 3 metri di base e 1,5 metri di altezza.

L'indice viene calcolato mettendo in rapporto la somma delle superfici vulnerabili con la superficie superiore della facciata, prendendo in considerazione 1,5 metri di altezza, secondo la formula:

$$LP = \frac{\sum_i S_{rib,i}}{(L_{tot} \cdot 1,5)}$$

dove:

- $S_{rib,i}$: superficie ribaltabile i-esima;
- $(L_{tot} \cdot 1,5)$: superficie dell'ultima fascia del prospetto di altezza 1,5m.



Indice di lesione da falsi puntoni, disegno dell'autore

5.1.5 Indice di vulnerabilità a taglio (VT)

Il meccanismo di lesione da taglio, che ricade nei casi del II modo di danno, viene qui considerato in quanto, nonostante non sia pericoloso per la salvaguardia della vita umana, risulta comunque molto interessante per una valutazione completa della vulnerabilità degli aggregati edilizi storici.

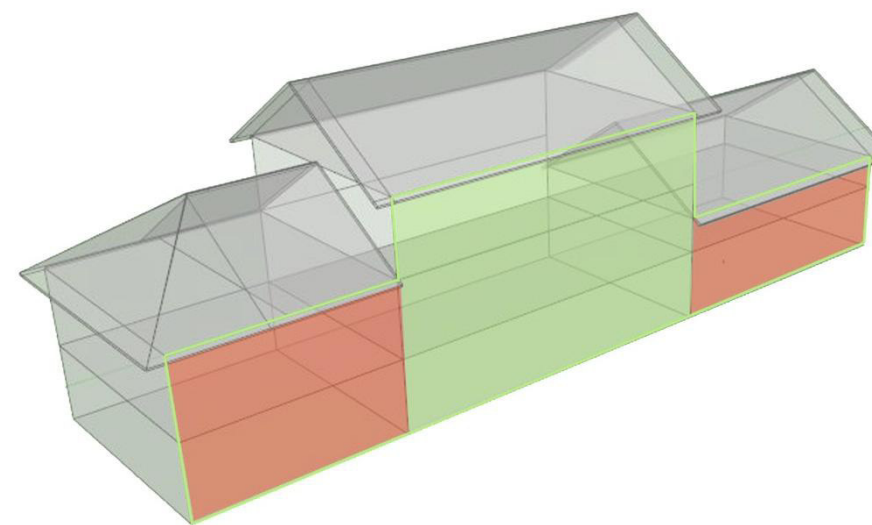
Con l'analisi condotta nel capitolo precedente, si sono individuate le porzioni di superficie vulnerabile tra due disconnessioni in facciata, considerando come tali quelle per le quali si è ottenuto un risultato $\geq 55\%$ nel rapporto tra fasce vulnerabili e maschi murari resistenti.

L'indice di vulnerabilità a taglio, poi, viene calcolato mettendo in rapporto la somma delle superfici vulnerabili con la superficie totale di facciata, secondo la formula:

$$VT = \frac{\sum_i S_{taglio,i}}{S_{tot}}$$

dove:

- $S_{taglio,i}$: superficie vulnerabile a taglio i-esima;
- S_{tot} : superficie totale della facciata.



Indice di vulnerabilità a taglio, disegno dell'autore

5.1.6 Indice di martellamento da solai sfalsati (MSS)

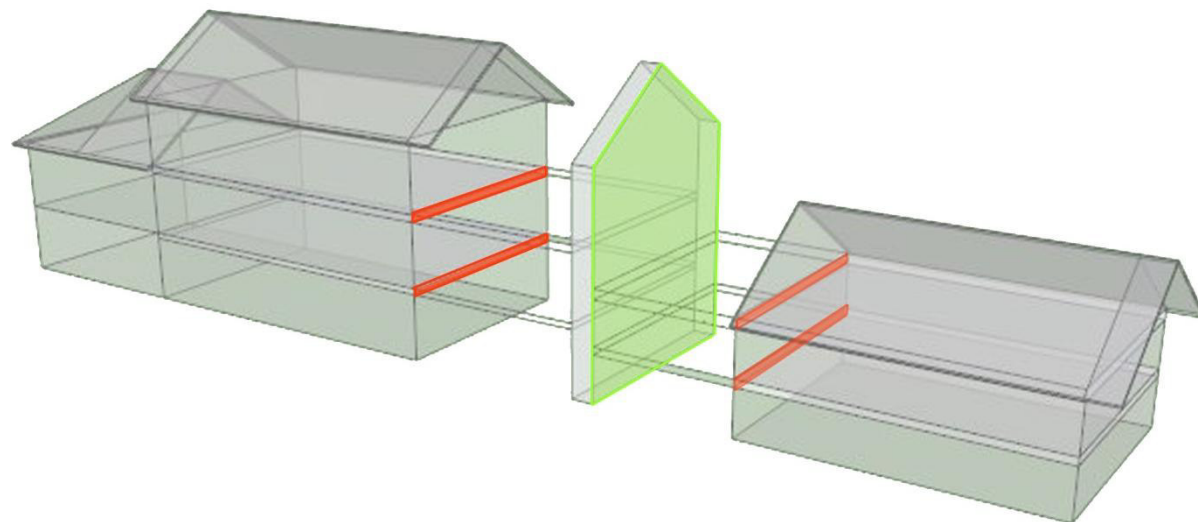
Il fenomeno di martellamento da solai sfalsati si verifica quando sulla stessa muratura d'ambito vengono ad appoggiarsi solai a diverse altezze. Questo accade per motivazioni che devono essere ricercate nel dislivello naturale del terreno oppure nel fatto che, in occasione dell'evoluzione della fabbrica dell'aggregato edilizio, i solai della porzione di ampliamento non sono stati collocati in maniera continua con quelli degli edifici già esistenti. In caso di sisma il martellamento dei solai può provocare danni considerevoli alla muratura d'ambito.

L'indice di martellamento da solai sfalsati viene calcolato mettendo in rapporto la somma delle superfici di contatto dei solai che risultano non allineati con la muratura d'ambito, con la superficie totale della muratura d'ambito, secondo la formula:

$$MSS = \frac{\sum_i S_{solai,i}}{S_{tot}}$$

dove:

- $S_{solai,i}$: superficie di contatto i-esima tra muratura d'ambito e solai sfalsati;
- S_{tot} : superficie totale delle murature d'ambito.



Indice di martellamento da solai sfalsati, disegno dell'autore

5.1.7 Indice di martellamento da edifici in cemento armato (MCA)

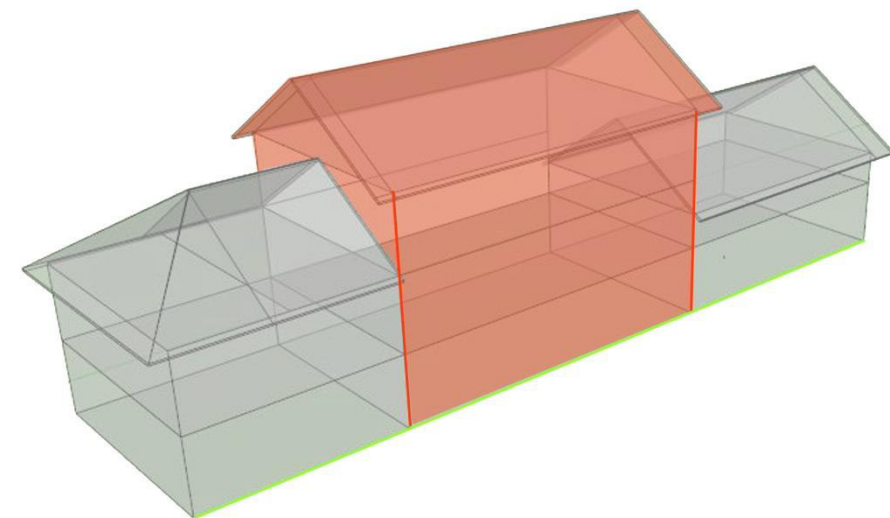
Il fenomeno di martellamento da cemento armato si verifica quando si verifica la presenza di edifici in calcestruzzo armato in adiacenza ad edifici in muratura. In caso di sisma le apparecchiature in muratura possono subire notevoli danni dovuti alla continua spinta delle parti in calcestruzzo armato.

L'indice di martellamento da edifici in cemento armato viene calcolato mettendo in rapporto la somma delle lunghezze di contatto tra edifici in cemento armato e in muratura, con la lunghezza totale del prospetto considerato, secondo la formula:

$$MCA = \frac{\sum_i L_{cont,i}}{L_{tot}}$$

dove:

- $L_{cont,i}$: lunghezza di contatto i-esima tra edificio in muratura ed edificio in c.c.a.;
- L_{tot} : lunghezza totale del prospetto.



Indice di martellamento da edifici in cemento armato, disegno dell'autore

5.1.8 Indice di vulnerabilità da muri in falso (MF)

Questo indice prende in considerazione il caso in cui al primo piano, e ai piani superiori, vi sia la presenza di setti murari che non presentano continuità con il piano terra e quindi con le fondamenta. Il meccanismo di danno connesso, in caso di sisma, si presenta con il crollo dei suddetti setti murari, con conseguente crollo del solaio sovrastante.

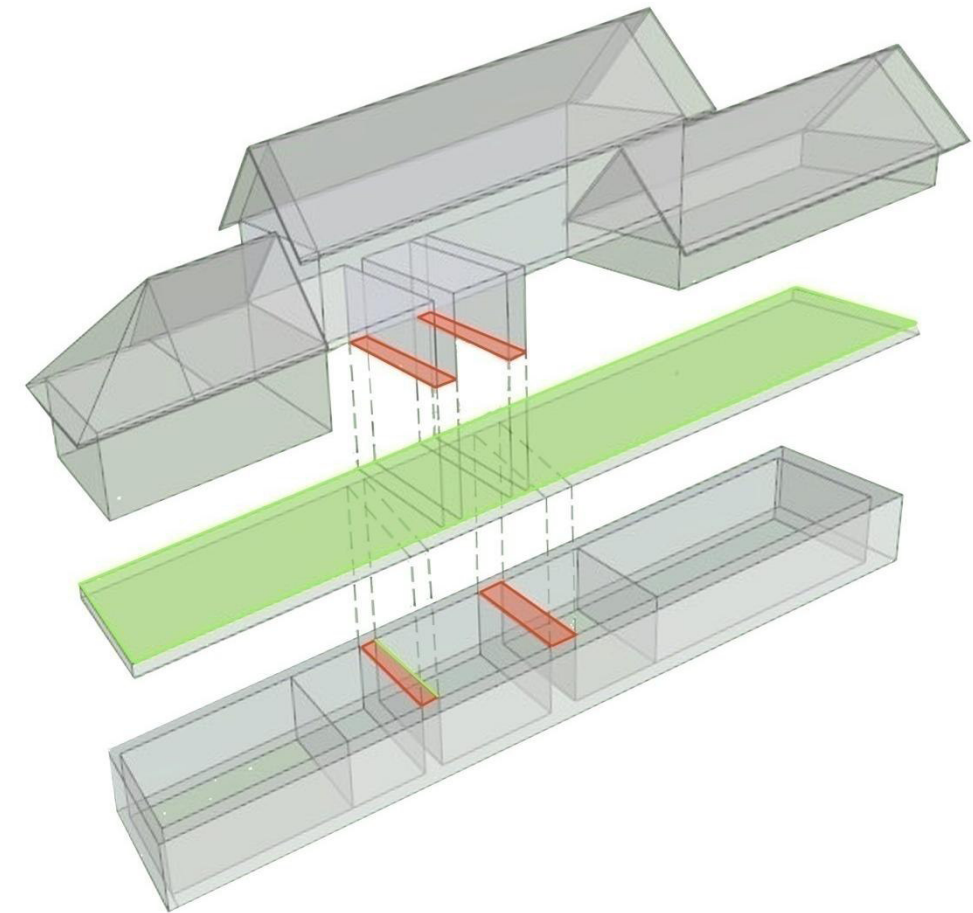
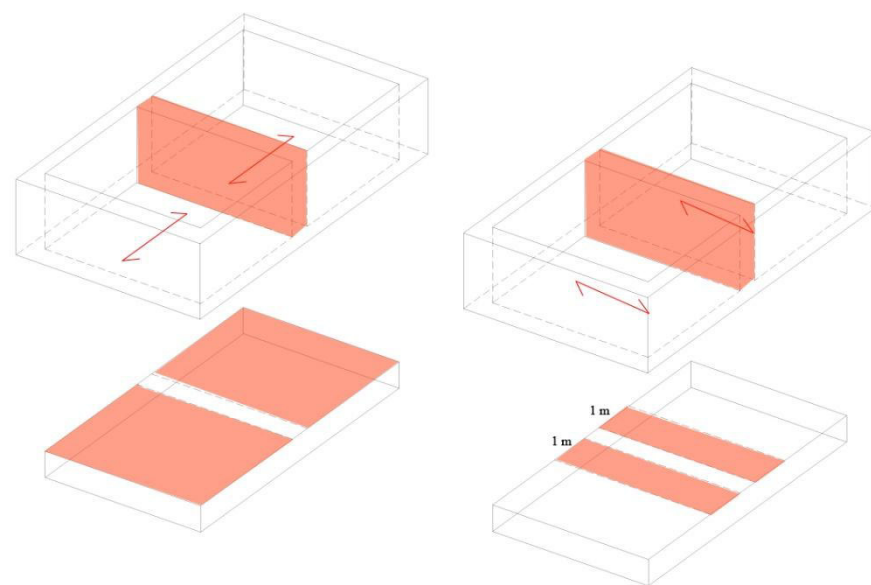
L'indice di vulnerabilità da muri in falso viene calcolato mettendo in rapporto la somma delle superfici in pianta considerate vulnerabili, con la superficie totale del piano considerato, secondo la formula:

$$MF = \frac{\sum_i S_{solai,i}}{S_{tot}}$$

dove:

- $S_{solai,i}$: superficie vulnerabile i-esima;
- S_{tot} : superficie totale del piano considerato.

La superficie vulnerabile viene calcolata come:



Indice di vulnerabilità da muri in falso, disegno dell'autore

5.2 Indice globale analitico di vulnerabilità sismica

Dopo aver determinato e calcolato ciascun indice di vulnerabilità sismica, è sembrato molto importante unificare tali risultati in un singolo valore che fosse in grado di dare un'immagine più immediata della pericolosità del singolo aggregato. Questa operazione ha lo scopo di ottenere una graduatoria degli aggregati in base alla pericolosità. Se questa graduatoria venisse stilata per un intero centro storico, l'amministrazione avrebbe a propria disposizione uno strumento utile per capire dove focalizzare le indagini specifiche e gli interventi, al fine di diminuire il rischio sismico degli aggregati e dell'intero centro storico. Per ottenere questo valore, si è pensato di considerare dei pesi da applicare ad ogni singolo indice di vulnerabilità a scala di aggregato.

Di seguito si è fatta la distinzione in due casi di studio di cui il secondo non prende in considerazione la vulnerabilità data dai muri in falso. Si è deciso di riportare anche questo

indice globale in quanto può essere confrontato con gli indici ottenuti nei precedenti casi di studio perché applica gli stessi pesi ai diversi indici di vulnerabilità.

Nel primo caso, invece, avendo inserito un indice in più, i pesi di riferimento cambiano e quindi risulta vano confrontarlo con i casi di studio precedenti.

5.2.1 Analisi senza il contributo della vulnerabilità da muri in falso (V_{GA})

Nel caso in esame i pesi utilizzati sono:

- per il ribaltamento delle facciate (RF): $P_{RF} = 27$;
- per le lesioni da falsi puntoni (LP): $P_{LP} = 27$;
- per le disconnessioni murarie (DM): $P_{DM} = 17$;
- per la vulnerabilità a taglio (VT): $P_{VT} = 9$;
- per il ribaltamento dei timpani (RT): $P_{RT} = 7$;
- per le lesioni da martellamento da cemento armato (MCA): $P_{MCA} = 7$;
- per le lesioni da martellamento da sfalsamento dei solai (MSS): $P_{MSS} = 6$.

Tali pesi sono stati identificati ponendo un punteggio massimo di vulnerabilità pari a 100 e affidando a ciascun indice una quota parte di esso proporzionale alla pericolosità del corrispondente meccanismo di collasso. Il punteggio maggiore è stata assegnato agli indici relativi ai meccanismi di 1° modo di danno, ovvero agli indici relativi al ribaltamento delle facciate e alle lesioni da falsi puntoni.

Fissati i pesi, l'indice globale della vulnerabilità dell'aggregato può essere così calcolato:

$$V_{GA} = RF \cdot P_{RF} + LP \cdot P_{LP} + DM \cdot P_{DM} + VT \cdot P_{VT} + RT \cdot P_{RT} + MCA \cdot P_{MCA} + MSS \cdot P_{MSS}$$

Il valore risultante sarà compreso tra 0 e 100 e potrà costituire una buona base di confronto tra la vulnerabilità degli aggregati analizzati.

5.2.1.1 Aggregato A2

Tipo di vulnerabilità	Esposizione	Quantità vulnerabile	Quantità totale	Indice
Disconnessioni murarie (DM)		n°	n°	%
Totale		12	61	19,7%

Ribaltamento facciate (RF)		mq	mq	%
di rifusione	Nord	44,47	306,78	14,5%
	Sud	88,90	484,50	18,3%
	Est	66,42	336,32	19,7%
	Ovest	9,16	309,70	3,0%
	Totale	208,95	1437,30	14,5%
di sopraelevazione	Nord	14,03	306,78	4,6%
	Sud	14,64	484,50	3,0%
	Est	0	336,32	0,0%
	Ovest	0	309,70	0,0%
	Totale	28,67	1437,30	2,0%
di completamento	Nord	59,16	306,78	19,3%
	Sud	271,02	484,50	55,9%
	Est	0	336,32	0,0%
	Ovest	0	309,70	0,0%
	Totale	330,18	1437,30	23,0%
di edificio chiesastico	Nord	17,97	306,78	5,9%
	Sud	5,50	484,50	1,1%
	Est	0	336,32	0,0%
	Ovest	0	309,70	0,0%
	Totale	23,47	1437,30	1,6%
Totale	Nord	135,63	306,78	44,2%
	Sud	380,06	484,50	78,4%
	Est	66,42	336,32	19,7%
	Ovest	9,16	309,70	3,0%
	Totale	591,27	1437,30	41,1%

Ribaltamento timpano (RT)		m	m	%
Totale	Nord	2,30	28,18	8,2%
	Sud	0	31,46	0,0%
	Est	0	28,41	0,0%
	Ovest	14,60	24,80	58,9%
	Totale	16,90	112,85	15,0%

Vulnerabilità a taglio (VT)		mq	mq	%
Totale	Nord	163,56	306,78	53,3%
	Sud	5,50	484,50	1,1%
	Est	0	336,32	0,0%
	Ovest	5,50	309,70	1,8%
	Totale	174,6	1437,30	12,1%

Valutazione della vulnerabilità sismica: metodo analitico

5.2.1.2 Aggregato A3

Tipo di vulnerabilità	Esposizione	Quantità vulnerabile	Quantità totale	Indice
Lesione da falsi puntoni (LP)		mq	mq	%
rompitratte spingenti	Nord	4,50	42,27	10,6%
	Sud	0	47,19	0,0%
	Est	0	42,62	0,0%
	Ovest	4,50	37,20	12,1%
	Totale	9,00	169,28	5,3%
diagonali spingenti	Nord	9,00	42,27	21,3%
	Sud	13,50	47,19	28,6%
	Est	9,00	42,62	21,1%
	Ovest	0	37,20	0,0%
	Totale	31,50	169,28	18,6%
Totale	Nord	13,50	42,27	31,9%
	Sud	13,50	47,19	28,6%
	Est	9,00	42,62	21,1%
	Ovest	4,50	37,20	12,1%
	Totale	40,50	169,28	23,9%

Martellamento da cemento armato (MCA)		m	m	%
Totale	Nord	0	28,18	0,0%
	Sud	0	31,46	0,0%
	Est	0	28,41	0,0%
	Ovest	0	24,80	0,0%
	Totale	0	112,85	0,0%

Martellamento da solai sfalsati (MSS)		mq	mq	%
Totale	Nord	3,89	264,23	1,5%
	Sud	20,30	192,75	10,5%
	Est	0	0	0,0%
	Ovest	6,99	228,81	3,1%
	Totale	31,19	685,78	4,5%

L'indice globale analitico di vulnerabilità sismica per l'aggregato A2 vale:

$$\begin{aligned}
 V_{GA} &= RF \cdot P_{RF} + LP \cdot P_{LP} + DM \cdot P_{DM} + VT \cdot P_{VT} + RT \cdot P_{RT} + MCA \cdot P_{MCA} + MSS \cdot P_{MSS} \\
 &= 0,411 \cdot 27 + 0,239 \cdot 27 + 0,197 \cdot 17 + 0,121 \cdot 9 + 0,150 \cdot 7 + 0 \cdot 7 \\
 &\quad + 0,045 \cdot 6 = \mathbf{23,3}
 \end{aligned}$$

Tipo di vulnerabilità	Esposizione	Quantità vulnerabile	Quantità totale	Indice
Disconnessioni murarie (DM)		n°	n°	%
Totale		30	108	27,8%

Ribaltamento facciate (RF)		mq	mq	%
di rifusione	Nord	111,17	311,34	35,7%
	Sud	42,64	306,43	13,9%
	Est	143,89	476,98	30,2%
	Ovest	67,29	367,54	18,3%
	Totale	364,99	1462,29	25,0%
di sopraelevazione	Nord	36,47	311,34	11,7%
	Sud	21,86	306,43	7,1%
	Est	72,56	476,98	15,2%
	Ovest	54,26	367,54	14,8%
	Totale	185,15	1462,29	12,7%
di completamento	Nord	0	311,34	0,0%
	Sud	0	306,43	0,0%
	Est	36,99	476,98	7,8%
	Ovest	27,24	367,54	7,4%
	Totale	64,23	1462,29	4,4%
di edificio chiesastico	Nord	0	311,34	0,0%
	Sud	0	306,43	0,0%
	Est	0	476,98	0,0%
	Ovest	0	367,54	0,0%
	Totale	0	1462,29	0,0%
Totale	Nord	147,64	311,34	47,4%
	Sud	64,50	306,43	21,0%
	Est	253,44	476,98	53,1%
	Ovest	148,79	367,54	40,5%
	Totale	614,370	1462,29	42,0%

Ribaltamento timpano (RT)		m	m	%
Totale	Nord	0	25,82	0,0%
	Sud	0	27,72	0,0%
	Est	2,96	41,10	7,2%
	Ovest	6,00	37,78	15,9%
	Totale	8,96	132,42	6,8%

Vulnerabilità a taglio (VT)		mq	mq	%
Totale	Nord	231,97	311,34	74,5%
	Sud	66,49	306,43	21,7%
	Est	192,24	476,98	40,3%
	Ovest	16,14	367,54	4,4%
	Totale	506,84	1462,29	34,7%

Valutazione della vulnerabilità sismica: metodo analitico

Tipo di vulnerabilità	Esposizione	Quantità vulnerabile	Quantità totale	Indice
Lesione da falsi puntoni (LP)				
		mq	mq	%
rompitratte spingenti	Nord	0	38,73	0,0%
	Sud	0	41,58	0,0%
	Est	9,00	61,65	14,6%
	Ovest	0	56,67	0,0%
	Totale	9,00	198,63	4,5%
diagonali spingenti	Nord	4,50	38,73	11,6%
	Sud	9,00	41,58	21,6%
	Est	4,50	61,65	7,3%
	Ovest	9,00	56,67	15,9%
	Totale	27,00	198,63	13,6%
Totale	Nord	4,50	38,73	11,6%
	Sud	9,00	41,58	21,6%
	Est	13,50	61,65	21,9%
	Ovest	9,00	56,67	15,9%
	Totale	36,00	198,63	18,1%
Martellamento da cemento armato (MCA)				
		m	m	%
Totale	Nord	0	25,82	0,0%
	Sud	0	27,72	0,0%
	Est	0	41,10	0,0%
	Ovest	0	37,78	0,0%
	Totale	0	132,42	0,0%
Martellamento da solai sfalsati (MSS)				
		mq	mq	%
Totale	Nord	0	121,10	0,0%
	Sud	25,12	166,20	15,1%
	Est	70,79	542,85	13,0%
	Ovest	69,70	570,10	12,2%
	Totale	165,61	1400,25	11,8%

5.2.2 Analisi con il contributo della vulnerabilità da muri in falso (V_{GA2})

Nel caso in esame i pesi utilizzati sono:

- per il ribaltamento delle facciate (RF): $P_{RF} = 20$;
- per le lesioni da falsi puntoni (LP): $P_{LP} = 20$;
- per le disconnessioni murarie (DM): $P_{DM} = 10$;
- per la vulnerabilità a taglio (VT): $P_{VT} = 10$;
- per il ribaltamento dei timpani (RT): $P_{RT} = 15$;
- per le lesioni da martellamento da cemento armato (MCA): $P_{MCA} = 5$;
- per le lesioni da martellamento da sfalsamento dei solai (MSS): $P_{MSS} = 5$;
- per la vulnerabilità da muri in falso $P_{MF} = 15$.

Tali pesi sono stati identificati ponendo un punteggio massimo di vulnerabilità pari a 100 e affidando a ciascun indice una quota parte di esso proporzionale alla pericolosità del corrispondente meccanismo di collasso. Il punteggio maggiore è stata assegnato agli indici relativi ai meccanismi di 1° modo di danno, ovvero agli indici relativi al ribaltamento delle facciate e alle lesioni da falsi puntoni.

Fissati i pesi, l'indice globale della vulnerabilità dell'aggregato può essere così calcolato:

$$V_{GA2} = RF \cdot P_{RF} + LP \cdot P_{LP} + DM \cdot P_{DM} + VT \cdot P_{VT} + RT \cdot P_{RT} + MCA \cdot P_{MCA} + MSS \cdot P_{MSS} + MF \cdot P_{MF}$$

L'indice globale analitico di vulnerabilità sismica per l'aggregato A3 vale:

$$\begin{aligned} V_{GA} &= RF \cdot P_{RF} + LP \cdot P_{LP} + DM \cdot P_{DM} + VT \cdot P_{VT} + RT \cdot P_{RT} + MCA \cdot P_{MCA} + MSS \cdot P_{MSS} \\ &+ MF \cdot P_{MF} \\ &= 0,420 \cdot 27 + 0,181 \cdot 27 + 0,278 \cdot 17 + 0,347 \cdot 9 + 0,068 \cdot 7 + 0 \cdot 7 \\ &+ 0,118 \cdot 6 = 25,3 \end{aligned}$$

Valutazione della vulnerabilità sismica: metodo analitico

5.2.2.1 Aggregato A2

Tipo di vulnerabilità	Esposizione	Quantità vulnerabile	Quantità totale	Indice
Disconnessioni murarie (DM)		n°	n°	%
Totale		12	61	19,7%
Ribaltamento facciate (RF)		mq	mq	%
di rifusione	Nord	44,47	306,78	14,5%
	Sud	88,90	484,50	18,3%
	Est	66,42	336,32	19,7%
	Ovest	9,16	309,70	3,0%
	Totale	208,95	1437,30	14,5%
di sopraelevazione	Nord	14,03	306,78	4,6%
	Sud	14,64	484,50	3,0%
	Est	0	336,32	0,0%
	Ovest	0	309,70	0,0%
	Totale	28,67	1437,30	2,0%
di completamento	Nord	59,16	306,78	19,3%
	Sud	271,02	484,50	55,9%
	Est	0	336,32	0,0%
	Ovest	0	309,70	0,0%
	Totale	330,18	1437,30	23,0%
di edificio chiesastico	Nord	17,97	306,78	5,9%
	Sud	5,50	484,50	1,1%
	Est	0	336,32	0,0%
	Ovest	0	309,70	0,0%
	Totale	23,47	1437,30	1,6%
Totale	Nord	135,63	306,78	44,2%
	Sud	380,06	484,50	78,4%
	Est	66,42	336,32	19,7%
	Ovest	9,16	309,70	3,0%
	Totale	591,27	1437,30	41,1%
Ribaltamento timpano (RT)		m	m	%
Totale	Nord	2,30	28,18	8,2%
	Sud	0	31,46	0,0%
	Est	0	28,41	0,0%
	Ovest	14,60	24,80	58,9%
	Totale	16,90	112,85	15,0%
Vulnerabilità a taglio (VT)		mq	mq	%
Totale	Nord	163,56	306,78	53,3%
	Sud	5,50	484,50	1,1%
	Est	0	336,32	0,0%
	Ovest	5,50	309,70	1,8%
	Totale	174,6	1437,30	12,1%

Tipo di vulnerabilità	Esposizione	Quantità vulnerabile	Quantità totale	Indice
Lesione da falsi puntoni (LP)		mq	mq	%
rompitratte spingenti	Nord	4,50	42,27	10,6%
	Sud	0	47,19	0,0%
	Est	0	42,62	0,0%
	Ovest	4,50	37,20	12,1%
	Totale	9,00	169,28	5,3%
diagonali spingenti	Nord	9,00	42,27	21,3%
	Sud	13,50	47,19	28,6%
	Est	9,00	42,62	21,1%
	Ovest	0	37,20	0,0%
	Totale	31,50	169,28	18,6%
Totale	Nord	13,50	42,27	31,9%
	Sud	13,50	47,19	28,6%
	Est	9,00	42,62	21,1%
	Ovest	4,50	37,20	12,1%
	Totale	40,50	169,28	23,9%
Martellamento da cemento armato		m	m	%
Totale	Nord	0	28,18	0,0%
	Sud	0	31,46	0,0%
	Est	0	28,41	0,0%
	Ovest	0	24,80	0,0%
	Totale	0	112,85	0,0%
Martellamento da solai sfalsati (MSS)		mq	mq	%
Totale	Nord	3,89	264,23	1,5%
	Sud	20,30	192,75	10,5%
	Est	0	0	0,0%
	Ovest	6,99	228,81	3,1%
	Totale	31,19	685,78	4,5%
Vulnerabilità da muri in falso (VMF)		mq	mq	%
Totale	I piano	20,65	664,87	3,1%
	II piano	0,00	620,47	0,0%
	III piano	187,82	547,59	34,3%
	Totale	208,47	1832,93	11,4%

L'indice globale analitico di vulnerabilità sismica per l'aggregato A2 vale:

$$\begin{aligned}
 V_{GA2} &= RF \cdot P_{RF} + LP \cdot P_{LP} + DM \cdot P_{DM} + VT \cdot P_{VT} + RT \cdot P_{RT} + MCA \cdot P_{MCA} + MSS \\
 &\quad \cdot P_{MSS} + MF \cdot P_{MF} \\
 &= 0,411 \cdot 20 + 0,239 \cdot 20 + 0,197 \cdot 10 + 0,121 \cdot 10 + 0,150 \cdot 15 + 0 \cdot 5 \\
 &\quad + 0,045 \cdot 5 + 0 \cdot 15 = \mathbf{23,8}
 \end{aligned}$$

Valutazione della vulnerabilità sismica: metodo analitico

5.2.2.2 Aggregato A3

Tipo di vulnerabilità	Esposizione	Quantità vulnerabile	Quantità totale	Indice
Disconnessioni murarie (DM)		n°	n°	%
Totale		30	108	27,8%
Ribaltamento facciate (RF)		mq	mq	%
di rifusione	Nord	111,17	311,34	35,7%
	Sud	42,64	306,43	13,9%
	Est	143,89	476,98	30,2%
	Ovest	67,29	367,54	18,3%
	Totale	364,99	1462,29	25,0%
di sopraelevazione	Nord	36,47	311,34	11,7%
	Sud	21,86	306,43	7,1%
	Est	72,56	476,98	15,2%
	Ovest	54,26	367,54	14,8%
	Totale	185,15	1462,29	12,7%
di completamento	Nord	0	311,34	0,0%
	Sud	0	306,43	0,0%
	Est	36,99	476,98	7,8%
	Ovest	27,24	367,54	7,4%
	Totale	64,23	1462,29	4,4%
di edificio chiesastico	Nord	0	311,34	0,0%
	Sud	0	306,43	0,0%
	Est	0	476,98	0,0%
	Ovest	0	367,54	0,0%
	Totale	0	1462,29	0,0%
Totale	Nord	147,64	311,34	47,4%
	Sud	64,50	306,43	21,0%
	Est	253,44	476,98	53,1%
	Ovest	148,79	367,54	40,5%
	Totale	614,370	1462,29	42,0%
Ribaltamento timpano (RT)		m	m	%
Totale	Nord	0	25,82	0,0%
	Sud	0	27,72	0,0%
	Est	2,96	41,10	7,2%
	Ovest	6,00	37,78	15,9%
	Totale	8,96	132,42	6,8%
Vulnerabilità a taglio (VT)		mq	mq	%
Totale	Nord	231,97	311,34	74,5%
	Sud	66,49	306,43	21,7%
	Est	192,24	476,98	40,3%
	Ovest	16,14	367,54	4,4%
	Totale	506,84	1462,29	34,7%

Tipo di vulnerabilità	Esposizione	Quantità vulnerabile	Quantità totale	Indice
Lesione da falsi puntoni (LP)		mq	mq	%
rompitratte spingenti	Nord	0	38,73	0,0%
	Sud	0	41,58	0,0%
	Est	9,00	61,65	14,6%
	Ovest	0	56,67	0,0%
	Totale	9,00	198,63	4,5%
diagonali spingenti	Nord	4,50	38,73	11,6%
	Sud	9,00	41,58	21,6%
	Est	4,50	61,65	7,3%
	Ovest	9,00	56,67	15,9%
	Totale	27,00	198,63	13,6%
Totale	Nord	4,50	38,73	11,6%
	Sud	9,00	41,58	21,6%
	Est	13,50	61,65	21,9%
	Ovest	9,00	56,67	15,9%
	Totale	36,00	198,63	18,1%
Martellamento da cemento armato (MCA)		m	m	%
Totale	Nord	0	25,82	0,0%
	Sud	0	27,72	0,0%
	Est	0	41,10	0,0%
	Ovest	0	37,78	0,0%
	Totale	0	132,42	0,0%
Martellamento da solai sfalsati (MSS)		mq	mq	%
Totale	Nord	0	121,10	0,0%
	Sud	25,12	166,20	15,1%
	Est	70,79	542,85	13,0%
	Ovest	69,70	570,10	12,2%
	Totale	165,61	1400,25	11,8%
Vulnerabilità da muri in falso (VMF)		mq	mq	%
Totale	I piano	317,03	855,31	37,1%
	II piano	211,66	770,68	27,5%
	III piano	103,15	431,57	23,9%
	Totale	631,84	2057,56	30,7%

L'indice globale analitico di vulnerabilità sismica per l'aggregato A3 vale:

$$\begin{aligned}
 V_{GA2} &= RF \cdot P_{RF} + LP \cdot P_{LP} + DM \cdot P_{DM} + VT \cdot P_{VT} + RT \cdot P_{RT} + MCA \cdot P_{MCA} + MSS \\
 &\quad \cdot P_{MSS} + MF \cdot P_{MF} \\
 &= 0,42 \cdot 20 + 0,181 \cdot 20 + 0,278 \cdot 10 + 0,347 \cdot 10 + 0,068 \cdot 15 + 0 \cdot 5 \\
 &\quad + 0,118 \cdot 5 + 0,325 \cdot 15 = \mathbf{24,5}
 \end{aligned}$$

Bibliografia

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, *Norme tecniche per le costruzioni*, Roma, 2008
GIUFFRÈ A., *Sicurezza e conservazione dei centri storici. Il caso di Ortigia*, Bari, Editori Laterza, 2000
CANGI G., *Manuale del recupero strutturale e antisismico*, Roma, DEI, 2005

Tesi consultate

STELLA E., *La vulnerabilità degli aggregati storici analizzata a partire dalla caratterizzazione costruttiva: il caso di studio del centro storico di Lanciano*, A.A. 2013/2014

6 Valutazione della vulnerabilità sismica: metodo speditivo

Nell'ottica di una possibile adozione del metodo da parte degli enti comunali, si rende necessario introdurre un tipo di valutazione applicabile in tempi più brevi e che richieda una mole di lavoro inferiore rispetto all'analisi condotta nel precedente capitolo. La valutazione analitica, infatti, essendo molto accurata, necessita evidentemente di uno studio a priori altrettanto dettagliato, che tenga in considerazione, oltre lo stato di fatto, anche il contesto e gli altri fattori connessi all'evoluzione della fabbrica dell'aggregato. Il tutto con un notevole impegno in tempo e denaro che le amministrazioni pubbliche, spesso fanno fatica a sostenere.

6.1 Indici di vulnerabilità

La procedura proposta, di tipo speditivo, conta di abbattere i tempi relativi alla ricerca archivistica e quelli relativi all'applicazione del metodo, introducendo due indici di vulnerabilità ricavabili disponendo solamente della pianta dei setti murari e dei prospetti fronte strada degli aggregati stessi. Gli indici proposti sono:

1. Indice di trasformazione in pianta (TP_S): fornisce indicazioni sui processi evolutivi della fabbrica;
2. Indice di trasformazione in alzato (TA_S): fornisce indicazioni sui processi evolutivi della fabbrica e sulla vulnerabilità al 1° modo di danno.

Per quanto riguarda, invece, gli altri meccanismi di collasso (ribaltamento dei timpani, lesioni da falsi puntoni, vulnerabilità a taglio, martellamento e vulnerabilità da muri in falso) si può continuare a fare riferimento agli indici calcolati nella valutazione analitica, in quanto molto semplici e veloci da ricavare, necessitando anch'essi solamente dei prospetti e delle rappresentazioni in pianta dei tessuti murari.

6.1.1 Stima della trasformazione in pianta (TP_S)

Alla base del calcolo dell'indice di trasformazione in pianta vi è la distinzione tra le porzioni di aggregato, in pianta, che possono essere considerate di I impianto, e quelle che, invece, si sono sviluppate in tempo successivi.

Attraverso l'analisi tipologica condotta sul tessuto urbano di Pergola, si è potuto riscontrare che le cellule base, cioè quelle che costituiscono il tessuto di primo impianto, presentano una profondità che può variare dalle 2 canne eugubine alle 2 canne eugubine + 2 bracci eugubini, cioè da circa 6 metri a circa 8 metri. Presa come riferimento una profondità media di 7 metri si può individuare l'area considerata di I impianto all'interno dell'aggregato oggetto di studio.

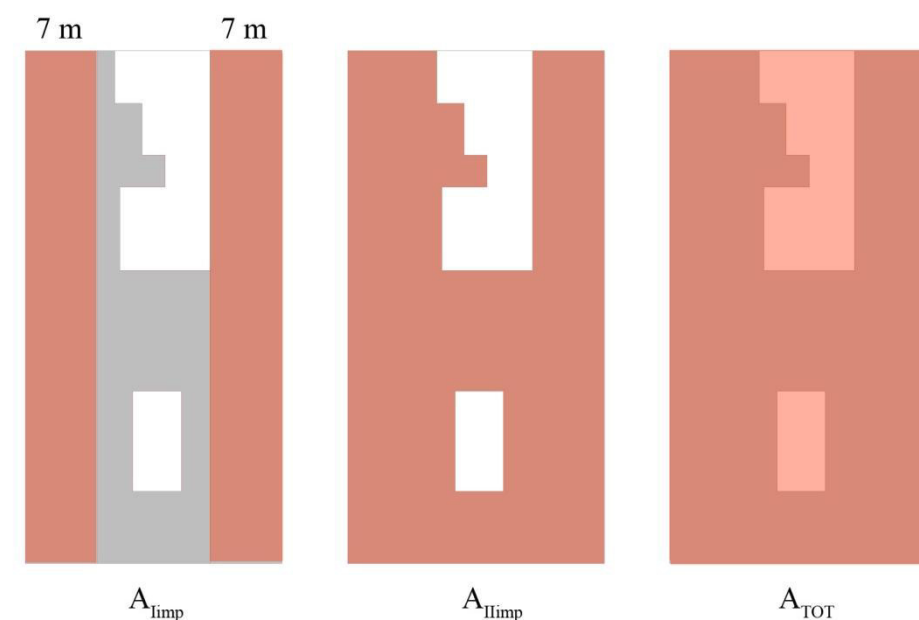
La stima della trasformazione in pianta viene effettuata, poi, in questo modo:

1. si calcola la differenza tra la superficie coperta attualmente (A_{IIimp}) e la superficie di primo impianto (A_{Iimp}) tramite la formula:

$$r = A_{IIimp} - A_{Iimp}$$

2. si ottiene l'indice che descrive la stima della trasformazione in pianta rapportando la differenza calcolata all'area totale racchiusa nel perimetro dell'aggregato (A_{TOT}):

$$TP_S = \frac{r}{A_{tot}} = \frac{A_{IIimp} - A_{Iimp}}{A_{tot}}$$



Stima della trasformazione in pianta, disegno dell'autore

6.1.2 Stima della trasformazione in alzato (TA_S)

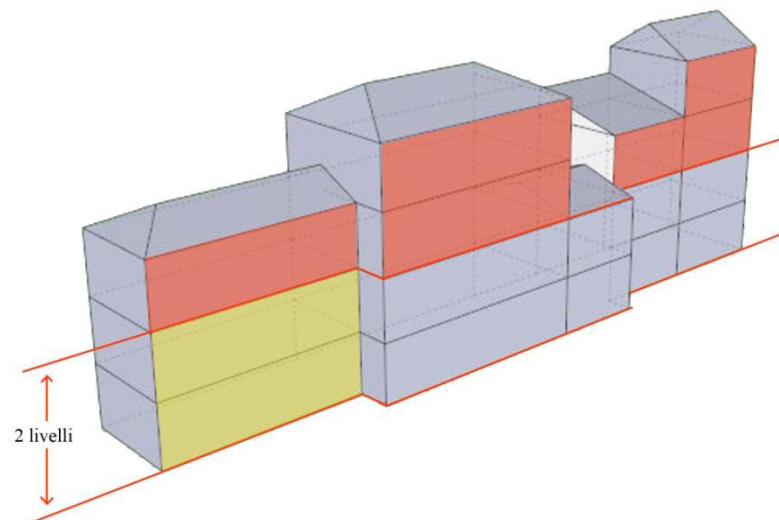
La valutazione della trasformazione in alzato risulta molto interessante in quanto, nonostante la semplicità di calcolo, fornisce informazioni sulla vulnerabilità degli aggregati al 1° modo di danno, ossia al ribaltamento fuori dal piano delle facciate, oltre a quelle relative al processo evolutivo della fabbrica.

Alla base del calcolo si ipotizza che in una prima fase le cellule abitative fossero composte da solamente due livelli e che solo con la progressiva evoluzione abbiano raggiunto la configurazione attuale in alzato (ipotesi utilizzata anche per la valutazione analitica).

La porzione di facciata, quindi, relativa ai piani oltre il secondo, viene considerata vulnerabile, unitamente alle porzioni di facciata soggette a rifusione, per le quali, però, si considerano solo i primi due livelli, avendo già considerato quelli superiori nelle sopraelevazioni. Le facciate rifuse vengono individuate tenendo in considerazione alcune caratteristiche comuni come uniformità di trattamento, simmetria delle aperture, unica altezza di gronda ed estensione notevole della facciata.

L'indice speditivo quindi è stato calcolato rapportando la somma delle superfici che stanno al di sopra del secondo livello e delle superfici rifuse con la superficie totale del fronte strada (S_{tot}), secondo la formula:

$$TA_S = \frac{S_{>2^\circ \text{livello}} + S_{\text{rifuse}}}{S_{\text{tot}}}$$



Stima della trasformazione in alzato, disegno dell'autore

6.2 Indice globale speditivo di vulnerabilità sismica

Come per la valutazione analitica, anche in questa fase utile unire i risultati delle singole stime in un valore, rappresentato dall'indice globale speditivo di vulnerabilità.

Esso è stato calcolato analogamente a quello analitico, utilizzando gli stessi pesi, ma in questo caso l'indice di ribaltamento delle facciate viene sostituito dalla stima della trasformazione in alzato, e l'indice di disconnessione muraria è sostituito dalla stima della trasformazione in pianta.

Come nel caso dell'analisi analitica si procede con la distinzione dei due casi di studio, considerando o meno il contributo della vulnerabilità data dai muri in falso.

6.2.1 Analisi senza il contributo della vulnerabilità da muri in falso (V_{GS})

Si ricorda che nel caso in esame i pesi utilizzati sono:

- per la trasformazione in alzato (TA_S): $P_{TA_S} = 27$;
- per le lesioni da falsi puntoni (LP): $P_{LP} = 27$;
- per la trasformazione in pianta (TP_S): $P_{TP_S} = 17$;
- per la vulnerabilità a taglio (VT): $P_{VT} = 9$;
- per il ribaltamento dei timpani (RT): $P_{RT} = 7$;
- per le lesioni da martellamento da cemento armato (MCA): $P_{MCA} = 7$;
- per le lesioni da martellamento da sfalsamento dei solai (MSS): $P_{MSS} = 6$.

Fissati i pesi, l'indice globale della vulnerabilità dell'aggregato può essere così calcolato:

$$V_{GS} = TA_S \cdot P_{TA_S} + LP \cdot P_{LP} + TP_S \cdot P_{TP_S} + VT \cdot P_{VT} + RT \cdot P_{RT} + MCA \cdot P_{MCA} + MSS \cdot P_{MSS}$$

6.2.1.1 Aggregato A2

Tipo di vulnerabilità	Esposizione	Quantità vulnerabile	Quantità totale	Indice
Ribaltamento facciate (RF)		mq	mq	%
superfici delle porzioni di prospetto che hanno subito una rifusione	Nord	103,63	306,78	33,8%
	Sud	359,92	484,50	74,3%
	Est	66	336,32	19,7%
	Ovest	9,16	309,70	3,0%
	Totale	539,13	1437,30	37,5%
superfici delle porzioni di prospetto superiori al secondo livello	Nord	32,00	306,78	10,4%
	Sud	20,14	484,50	4,2%
	Est	0	336,32	0,0%
	Ovest	0	309,70	0,0%
	Totale	52,14	1437,30	3,6%
Totale	Nord	135,63	306,78	44,2%
	Sud	380,06	484,50	78,4%
	Est	66,42	336,32	19,7%
	Ovest	9,16	309,70	3,0%
	Totale	591,27	1437,30	41,1%

Tipo di vulnerabilità	Sup. coperta	Sup. totale	Quantità totale	Indice
Stima della trasformazione in pianta (TP)	$A_{i\text{ cop. } i=I,II}$ (mq)	A_{tot} (mq)	$r = A_{II} - A_I$ (mq)	%
Fase di I impianto (i=I)	475,98	833,07	275	33%
Fase di II impianto (i=II)	750,82			

L'indice globale speditivo di vulnerabilità sismica per l'aggregato A2 vale:

$$V_{GS} = TA_S \cdot P_{TA_S} + LP \cdot P_{LP} + TP_S \cdot P_{TP_S} + VT \cdot P_{VT} + RT \cdot P_{RT} + MCA \cdot P_{MCA} + MSS \cdot P_{MSS}$$

$$= 0,411 \cdot 27 + 0,239 \cdot 27 + 0,330 \cdot 17 + 0,121 \cdot 9 + 0,150 \cdot 7 + 0 \cdot 7 + 0,045 \cdot 6 = \mathbf{25,6}$$

6.2.1.2 Aggregato A3

Tipo di vulnerabilità	Esposizione	Quantità vulnerabile	Quantità totale	Indice
Stima della trasformazione in alzato (TA)		mq	mq	%
superfici delle porzioni di prospetto che hanno subito una rifusione	Nord	111,17	311,34	35,7%
	Sud	43	306,43	13,9%
	Est	180,88	476,98	37,9%
	Ovest	94,53	367,54	25,7%
	Totale	429,22	1462,29	29,4%
superfici delle porzioni di prospetto superiori al secondo livello	Nord	36,47	311,34	11,7%
	Sud	21,86	306,43	7,1%
	Est	72,56	476,98	15,2%
	Ovest	54,26	367,54	14,8%
	Totale	185,15	1462,29	12,7%
Totale	Nord	147,64	311,34	47,4%
	Sud	64,50	306,43	21,0%
	Est	253,44	476,98	53,1%
	Ovest	148,79	367,54	40,5%
	Totale	614,37	1462,29	42,0%

Tipo di vulnerabilità	Sup. coperta	Sup. totale	Quantità totale	Indice
Stima della trasformazione in pianta (TP)	$A_{i\text{ cop. } i=I,II}$ (mq)	A_{tot} (mq)	$r = A_{II} - A_I$ (mq)	%
Fase di I impianto (i=I)	552,16	922,82	356,43	38,6%
Fase di II impianto (i=II)	908,59			

L'indice globale speditivo di vulnerabilità sismica per l'aggregato A3 vale:

$$V_{GS} = TA_S \cdot P_{TA_S} + LP \cdot P_{LP} + TP_S \cdot P_{TP_S} + VT \cdot P_{VT} + RT \cdot P_{RT} + MCA \cdot P_{MCA} + MSS \cdot P_{MSS}$$

$$= 0,420 \cdot 27 + 0,181 \cdot 27 + 0,386 \cdot 17 + 0,347 \cdot 9 + 0,068 \cdot 7 + 0 \cdot 7 + 0,118 \cdot 6 = \mathbf{27,1}$$

6.2.2 Analisi con il contributo della vulnerabilità da muri in falso (V_{GS2})

Si ricorda che nel caso in esame i pesi utilizzati sono:

- per la trasformazione in alzato (TA_S): $P_{TA_S} = 20$;
- per le lesioni da falsi puntoni (LP): $P_{LP} = 20$
- per la trasformazione in pianta (TP_S): $P_{TP_S} = 10$;
- per la vulnerabilità a taglio (VT): $P_{VT} = 10$;
- per il ribaltamento dei timpani (RT): $P_{RT} = 15$;
- per le lesioni da martellamento da cemento armato (MCA): $P_{MCA} = 5$;
- per le lesioni da martellamento da sfalsamento dei solai (MSS): $P_{MSS} = 5$;
- per la vulnerabilità da muri in falso $P_{MF} = 15$.

Fissati i pesi, l'indice globale della vulnerabilità dell'aggregato può essere così calcolato:

$$V_{GS} = TA_S \cdot P_{TA_S} + LP \cdot P_{LP} + TP_S \cdot P_{TP_S} + VT \cdot P_{VT} + RT \cdot P_{RT} + MCA \cdot P_{MCA} + MSS \cdot P_{MSS} + MF \cdot P_{MF}$$

6.2.2.1 Aggregato A2

L'indice globale speditivo di vulnerabilità sismica per l'aggregato A2 vale:

$$\begin{aligned} V_{GS2} &= TA_S \cdot P_{TA_S} + LP \cdot P_{LP} + TP_S \cdot P_{TP_S} + VT \cdot P_{VT} + RT \cdot P_{RT} + MCA \cdot P_{MCA} + MSS \cdot P_{MSS} + MF \cdot P_{MF} \\ &= 0,411 \cdot 20 + 0,239 \cdot 20 + 0,330 \cdot 10 + 0,121 \cdot 10 + 0,150 \cdot 15 + 0 \cdot 5 \\ &\quad + 0,045 \cdot 5 + 0,114 \cdot 15 = \mathbf{25,1} \end{aligned}$$

6.2.2.2 Aggregato A3

L'indice globale speditivo di vulnerabilità sismica per l'aggregato A3 vale:

$$\begin{aligned} V_{GS2} &= TA_S \cdot P_{TA_S} + LP \cdot P_{LP} + TP_S \cdot P_{TP_S} + VT \cdot P_{VT} + RT \cdot P_{RT} + MCA \cdot P_{MCA} + MSS \cdot P_{MSS} + MF \cdot P_{MF} \\ &= 0,420 \cdot 20 + 0,181 \cdot 20 + 0,386 \cdot 10 + 0,347 \cdot 10 + 0,068 \cdot 15 + 0 \cdot 5 \\ &\quad + 0,118 \cdot 5 + 0,307 \cdot 15 = \mathbf{25,6} \end{aligned}$$

Bibliografia

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, *Norme tecniche per le costruzioni*, Roma, 2008
 GIUFFRÈ A., *Sicurezza e conservazione dei centri storici. Il caso di Ortigia*, Bari, Editori Laterza, 2000
 CANGI G., *Manuale del recupero strutturale e antisismico*, Roma, DEI, 2005

Tesi consultate

STELLA E., *La vulnerabilità degli aggregati storici analizzata a partire dalla caratterizzazione costruttiva: il caso di studio del centro storico di Lanciano*, A.A. 2013/2014

7 Indici globali di vulnerabilità sismica a confronto

7.1 Indici a confronto nel contesto pergolese

Arrivati a definire i risultati in termini di valutazione analitica e speditiva, risulta molto interessante confrontarli tra loro.

Le due tipologie di analisi, infatti, nonostante le diversità di metodo, devono essere in grado di restituire risultati coerenti, in particolar modo se riferiti ad aggregati che abitano lo stesso contesto geo – materiale e caratterizzato da vicende storiche e culturali simili.

Essendo, questo, un primo approccio all’analisi nel contesto del comune di Pergola, non si hanno a disposizione risultati su altri aggregati, se non quelli ottenuti con il presente lavoro; per questo motivo le classifiche riportate sono molto limitate. L’auspicio, ovviamente, è che il lavoro di valutazione della vulnerabilità sismica, con il metodo proposto, possa proseguire fino ad ottenere un quadro completo del centro storico.

Si distinguono sempre i due casi di studio, di cui il primo tiene conto del contributo della vulnerabilità data dai muri in falso.

7.1.1 Confronto dei risultati ottenuti considerando il contributo della vulnerabilità da muri in falso

Per velocizzare la comprensione si riportano, oltre al risultato finale dell’indice globale di vulnerabilità, anche i valori degli indici che hanno permesso il suo calcolo.

		Pergola	
		Isolato A2	Isolato A3
Stima trasformazione in pianta	totale	33,0%	38,6%
Stima trasformazione in alzato	di sopraelevazione	3,6%	12,7%
	di rifusione	32,9%	24,5%
	totale	36,5%	37,2%
Indice globale speditivo di vulnerabilità		25,1	25,6

Risultati ottenuti con il metodo speditivo

		Pergola	
		Isolato A2	Isolato A3
Ribaltamento facciate	di rifusione	9,9%	20,1%
	di sopraelevazione	2,0%	12,7%
	di completamento	23,0%	4,4%
	di edificio chiesastico	1,60%	0,0%
	totale	36,5%	37,1%
Disconnessioni murarie	totale	19,7%	25,9%
Ribaltamento timpano	totale	15,0%	6,80%
Vulnerabilità a taglio	totale	12,1%	34,7%
Lesioni da falsi puntoni	diagonali spingenti	13,3%	13,6%
	rompitratte spingenti	5,3%	4,5%
	totale	18,6%	18,1%
Martellamento da solai sfalsati	totale	4,5%	11,8%
Martellamento da cemento armato	totale	0,0%	0,0%
Vulnerabilità da muri in falso	totale	11,4%	30,7%
Indice globale analitico di vulnerabilità		23,8	24,5

Risultati ottenuti con il metodo analitico

		Indice globale analitico di vulnerabilità (Vga2)	Indice globale speditivo di vulnerabilità (Vgs2)		
Pergola A3		24,5	25,6	Pergola A3	
Pergola A2		23,8	25,1	Pergola A2	

Indici globali analitici e speditivi a confronto

Si noti come la validità del metodo speditivo viene confermata dai risultati ottenuti. Sia con l’approccio analitico che con quello speditivo, infatti, l’aggregato A3 risulta più vulnerabile dell’aggregato A2, a conferma delle valutazioni condotte inizialmente che dimostravano come l’aggregato A3 abbia subito, negli anni, molte più modificazioni rispetto a quelle riscontrate nell’aggregato A2.

Indici globali di vulnerabilità sismica a confronto

7.1.2 Confronto dei risultati ottenuti non considerando il contributo della vulnerabilità da muri in falso

		Pergola	
		Isolato A2	Isolato A3
Stima trasformazione in pianta	totale	33,0%	38,6%
Stima trasformazione in alzato	di sopraelevazione	3,6%	12,7%
	di rifusione	37,5%	29,4%
	totale	41,1%	42,0%
Indice globale speditivo di vulnerabilità		25,60	27,1

Risultati ottenuti con il metodo speditivo

		Pergola	
		Isolato A2	Isolato A3
Ribaltamento facciate	di rifusione	14,5%	25,0%
	di sopraelevazione	2,0%	12,7%
	di completamento	23,0%	4,4%
	di edificio chiesastico	1,60%	0,0%
	totale	41,1%	42,0%
Disconnessioni murarie	totale	19,7%	25,9%
Ribaltamento timpano	totale	15,0%	6,80%
Vulnerabilità a taglio	totale	12,1%	34,7%
Lesioni da falsi puntoni	diagonali spingenti	18,6%	13,6%
	rompitratte spingenti	5,3%	4,5%
	totale	23,9%	18,1%
Martellamento da solai sfalsati	totale	4,5%	11,8%
Martellamento da cemento armato	totale	0,0%	0,0%
Indice globale analitico di vulnerabilità		23,3	25,3

Risultati ottenuti con il metodo analitico

		Indice globale analitico di vulnerabilità (Vga)	↑	Indice globale speditivo di vulnerabilità (Vgs)		
Pergola A3		25,3		27,1		Pergola A3
Pergola A2		23,3		25,6		Pergola A2

Indici globali analitici e speditivi a confronto

Anche per questo caso valgono le considerazioni esposte nel paragrafo precedente. Si noti inoltre che anche con il contributo della vulnerabilità da muri in falso, l'aggregato A3 rimane più vulnerabile dell'aggregato A2.

7.2 Il problema della qualità muraria nel confronto con altri casi di studio

L'obiettivo principale del metodo è quello di stilare una classifica basata sulla vulnerabilità degli aggregati, con lo scopo di individuare le emergenze maggiori in un determinato contesto ed indirizzare, quindi, gli interventi laddove le costruzioni presentino maggiori carenze dal punto di vista strutturale.

Si è visto come questo risulti utile nel contesto urbano relativo ad un singolo comune, ma il concetto può essere esteso all'intero territorio nazionale, apportando, ovviamente, i dovuti accorgimenti che tengano conto delle differenze geo-materiali, culturali, storiche ed economiche che hanno portato alla definizione del tessuto urbano così come oggi appare.

Confrontando, infatti, aggregati, che per diversi motivi, sono stati realizzati con tecniche costruttive e materiali differenti e, spesso, anche in tempi del tutto diversi, senza apportare misure cautelative al metodo, si perverrebbe a risultati poco attendibili e quindi non utilizzabili.

La causa principale della disomogeneità dei risultati ottenuti dai diversi casi di studio, è da attribuire sicuramente alla qualità muraria delle apparecchiature. Questa, infatti, gioca un ruolo fondamentale nella definizione dell'indice globale di vulnerabilità; con il metodo fin qui esposto risulta scontato che un aggregato la cui fabbrica ha subito, nel tempo, poche modificazioni presenti un indice globale di vulnerabilità minore rispetto ad un aggregato in cui si riscontrano un numero considerevole di disconnessioni murarie.

Inserendo, però, nel metodo un fattore che tenga conto della qualità muraria, i risultati possono cambiare in modo significativo; sembra, quindi, necessario proporre un metodo da ritenersi "assoluto" che ne tenga conto, soprattutto nell'ottica di un confronto produttivo tra le varie realtà italiane.

La comparazione proposta prende in considerazione due realtà molto diverse tra loro: quella di Pergola, in cui, come esposto nei capitoli precedenti, la cultura del laterizio si scontra con la difficoltà di recuperare in loco il materiale necessario alle tecniche associate. A Pergola, infatti, si assiste spesso all'utilizzo di apparecchiature miste in pietra e laterizio realizzate senza un disegno ben preciso, che presentano giunti in malta perlopiù di scadente qualità. Di contro, l'altra realtà, quella emiliana, deriva da un cultura del laterizio molto più

radicata nel contesto costruttivo, e per questo presenta una qualità maggiore nella realizzazione delle apparecchiature murarie, che consente, spesso, un comportamento monolitico del paramento.

Bisogna fare un'ulteriore precisazione: per gli aggregati di Pergola gli indici utilizzati sono quelli ottenuti senza il contributo della vulnerabilità da muri in falso. Questo in quanto nei casi di studio precedentemente analizzati, questo contributo non è stato stimato e variando, nella definizione dell'indice globale di vulnerabilità, i pesi attribuiti ad ogni singolo indice specifico, il confronto in tal senso risulterebbe vano. Preso questo come dato di fatto, di seguito ciò non verrà più precisato.

Il primo passo, quindi, è riportare il confronto tra gli aggregati analizzati nel contesto emiliano e quelli valutati nel comune di Pergola, senza tenere in considerazione l'indice di qualità muraria.

Isolati	Indice globale analitico di vulnerabilità	Indice globale speditivo di vulnerabilità	Isolati
Carpi 19	41,2	41,7	Carpi 49
Carpi 49	36,7	38,7	Carpi 36
Carpi 36	35,9	38,5	Carpi 19
Crevalcore XVIII	35	36,6	San Felice
San Felice	34,5	34,1	Crevalcore XVIII
Castelfranco Cappi - 3	31,6	32,2	Castelfranco Cappi - 3
Castelfranco Cuccoli -14	31,1	31,2	Castelfranco Cuccoli -14
Mirandola 27	29,9	29,1	Mirandola 27
Castelfranco Isolati 5-6	26,0	27,4	Castelfranco Isolati 5-6
Pergola A3	25,3	27,1	Pergola A3
Pergola A2	23,3	25,6	Pergola A2

Confronto n°1: senza contributo dell'indice di qualità muraria

Questa classifica, altro non può fare che fornire un'idea sugli ordini di grandezza e sulle modifiche subite dalle fabbriche dei vari aggregati. Si noti come gli isolati di Carpi risultino molto più vulnerabili e questo in quanto il centro storico si è adattato negli anni per accogliere al suo interno tutte le polarità principali della città.

Indici globali di vulnerabilità sismica a confronto

I dati raccolti nella tabella precedente sono stati desunti dal seguente raffronto:

		Carpi			Mirandola	Crevalcore	San Felice sul Panaro	Castelfranco Emilia			Pergola	
		Isolato 19	Isolato 36	Isolato 49	Isolato 27	Isolato XVIII	Isolato	Isolato Cappi - 3	Isolato Cuccoli - 14	Isolati 5-6	Isolato A2	Isolato A3
Ribaltamento facciate	di rifusione	45,4%	44,2%	33,6%	34,3%	38,6%	28,7%	41,1%	38,2%	26,3%	14,5%	25,0%
	di sopraelevazione	20,7%	22,0%	23,0%	19,0%	19,0%	10,5%	15,8%	9,9%	11,6%	2,0%	12,7%
	di completamento	8,2%	0,0%	0,0%	6,0%	1,1%	6,0%	10,7%	9,0%	2,6%	23,0%	4,4%
	di edificio chiesastico	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,60%	0,0%
	totale	74,4%	66,2%	56,6%	59,3%	58,8%	45,2%	67,6%	57,2%	40,6%	41,1%	42,0%
Disconnessioni murarie	totale	32,7%	29,8%	28,8%	28,4%	25,4%	26,2%	21,6%	38,1%	14,9%	19,7%	25,9%
Ribaltamento timpano	totale	18,5%	13,7%	9,0%	11,0%	10,1%	9,3%	5,6%	25,4%	18,5%	15,0%	6,80%
Vulnerabilità a taglio	totale	91,6%	75,8%	92,1%	34,5%	44,0%	60,3%	37,7%	27,5%	52,9%	12,1%	34,7%
Lesioni da falsi puntoni	diagonali spingenti	7,9%	2,3%	10,3%	9,3%	22,9%	22,1%	12,7%	8,6%	17,4%	18,6%	13,6%
	rompitratte spingenti	3,0%	3,5%	10,3%	4,6%	7,6%	14,8%	0,0%	2,2%	9,5%	5,3%	4,5%
	totale	10,9%	5,8%	20,6%	13,9%	30,6%	36,9%	12,7%	10,8%	26,9%	23,9%	18,1%
Martellamento da solai sfalsati	totale	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	8,7%	4,5%	11,8%
Martellamento da cemento armato	totale	10,0%	21,5%	0,0%	0,0%	2,9%	0,0%	12,7%	6,2%	6,2%	0,0%	0,0%
Indice globale analitico di vulnerabilità		41,2	35,9	36,7	29,9	35,0	34,5	31,6	31,1	26,0	23,3	25,3

Confronto dei risultati ottenuti con il metodo analitico

		Carpi			Mirandola	Crevalcore	San Felice sul Panaro	Castelfranco Emilia			Pergola	
		Isolato 19	Isolato 36	Isolato 49	Isolato 27	Isolato XVIII	Isolato	Isolato Cappi - 3	Isolato Cuccoli - 4	Isolati 5-6	Isolato A2	Isolato A3
Stima trasformazione in pianta	totale	26,1%	30,7%	50,2%	25,3%	22,9%	35,0%	13,8%	34,8%	30%	33,0%	38,6%
Stima trasformazione in alzato	di sopraelevazione	31,1%	32,3%	32,1%	31,8%	28,4%	24,0%	23,8%	9,9%	11%	3,6%	12,7%
	di rifusione	38,0%	43,2%	28,7%	26,4%	28,7%	23,2%	50,8%	49,5%	25%	37,5%	29,4%
	totale	69,1%	75,4%	60,8%	58,1%	57,1%	47,2%	74,6%	59,4%	37%	41,1%	42,1%
Indice globale speditivo di vulnerabilità		38,5	38,7	41,7	29,1	34,1	36,6	32,2	31,2	27,4	25,6%	27,1%

Confronto dei risultati ottenuti con il metodo speditivo

Salta subito agli occhi come il caso di studio di Pergola nella classifica appena esposta si collochi nelle posizioni più in basso, il che farebbe supporre che gli aggregati siano meno vulnerabili di quelli studiati nelle città emiliane. Come accennato, però, ancora non si è considerato un coefficiente che tenga conto della qualità muraria, che come si vedrà, per Pergola risulta molto inferiore rispetto al caso delle murature emiliane.

L'analisi della qualità muraria ha come finalità principale quella di formulare un giudizio sulla capacità meccanica portante dell'apparecchiatura in caso di sisma. Come detto, infatti, la qualità muraria influenza in modo considerevole la tipologia di danneggiamenti in caso di terremoto; murature di cattiva qualità, caratterizzate da scarso ingranamento interno e bassa coesione, in caso di sisma, tendono a disgregarsi internamente ancora prima che si instauri il meccanismo di collasso.

Considerata la notevole varietà di materiali e tecniche presenti nel nostro paese, derivanti da tecniche costruttive fortemente legate al fattore geografico, sarebbe un errore non considerare questa variabile nel calcolo della vulnerabilità.

Come accennato, appunto, lo scopo del lavoro proposto in questo capitolo, è quello di definire in maniera "assoluta" un metodo per introdurre il concetto di qualità muraria nel calcolo dell'indice di vulnerabilità sismica, in modo che questo possa essere utilizzato, non solo per il caso di Pergola o per quello dei comuni emiliani, ma per qualsiasi comune del territorio italiano.

Di seguito sono riportati due metodi per definire l'indice di qualità muraria. Il primo, che verrà chiamato per comodità *metodo Beta-NTC*, di tipo speditivo, è basato sul rilievo visivo, che può consentire di giungere ad una buona conoscenza e ad un giudizio sulla qualità degli elementi costruttivi, dei materiali e del loro degrado, e in generale, dei fattori che possono influenzare il comportamento strutturale; il secondo, che chiameremo *metodo IQM*, di matrice analitica, si propone di valutare le apparecchiature murarie in maniera approfondita e prendendo in considerazione molteplici fattori.

7.2.1 Contributo della qualità muraria nel metodo Beta-NTC ($IQM_{\text{Beta-NTC}}$)

Nel caso di studio degli aggregati del centro storico di Lanciano, si è resa necessaria l'introduzione di un fattore correttivo dell'indice globale di vulnerabilità sismica che prendesse in considerazione il contributo, non di poco conto, della qualità muraria. Nel processo di definizione del coefficiente correttivo, si è dovuto necessariamente definire un metodo per individuare l'indice di qualità muraria in modo da poter confrontare le apparecchiature emiliane con quelle riscontrate negli aggregati oggetto di studio nel centro storico di Lanciano. Si riporta in maniera schematica il metodo introdotto dal collega Ennio Stella in conformità alle Norme Tecniche per le Costruzioni e alla relativa circolare applicativa:

1. Si suddivide l'aggregato in *unità strutturali* (US), desunte dall'analisi dell'evoluzione della fabbrica, come previsto dalla normativa;
2. Per ogni US si individua la tipologia di muratura utilizzata;
3. Per ogni US, secondo la tabella riportata di seguito, si sottraggono, dai valori di partenza, i valori correttivi rispondenti alle caratteristiche dell'apparecchiatura muraria;

descrizione muratura	valore di partenza	malta scadente (A)	giunti spessi (>10mm) (B)	assenza di ricorsi e/o listature (C)	assenza di elementi di collegamento trasversale (D)	nucleo scadente e/o ampio (E)
muratura in pietrame disordinata	1	-0,25	0,00	-0,15	-0,25	-0,05
muratura a conci sbozzati	2	-0,20	-0,10	-0,10	-0,25	-0,10
muratura mista (pietre - laterizio)	3	-0,15	-0,15	-0,10	-0,20	-0,15
muratura in pietre a spacco (buona tessitura)	4	-0,15	0,00	-0,05	-0,15	-0,10
muratura in mattoni pieni	5	-0,25	-0,25	0,00	-0,15	-0,15

4. Si calcola il volume di ogni US, che verrà utilizzato come quantità per la quale pesare il valore della qualità muraria;

5. Si individua l'indice di qualità muraria totale dell'aggregato tramite una proporzione:

$$IQM_{Beta-NTC} = \frac{\sum_i (V_{USi} \cdot IQM_{USi})}{V_{TOT}}$$

6. Per ottenere il fattore correttivo, da applicare all'indice globale di vulnerabilità, si divide $IQM_{Beta-NTC}$ per 5, dove 5 è un valore massimo.

Il metodo quindi permette di attribuire un indice di qualità muraria che può variare da 0 a 5 e con il quale si può ottenere il fattore correttivo da applicare all'indice di vulnerabilità sismica.

Per ulteriori precisazioni sul metodo si rimanda alla tesi di laurea ad opera di Ennio Stella, *La vulnerabilità degli aggregati storici analizzata a partire dalla caratterizzazione costruttiva: il caso di studio del centro storico di Lanciano*, A.A. 2013/2014.

L'Emilia

In questo preciso caso di studio si propone di fare riferimento agli aggregati dei centri storici dell'Emilia in maniera unitaria, in quanto presentano caratteristiche costruttive, sia a livello materico che a livello tecnologico, molto simili.

Le diverse città appartengono tutte alla zona della bassa padana, identificabile come area geo-materiale terrosa, ed in quanto tale vede lo scarso utilizzo dei materiali lapidei e l'abbondante uso, nelle costruzioni, del laterizio. Inoltre i centri storici analizzati, nonostante due di essi siano città di fondazione, hanno avuto un grande sviluppo nella stessa epoca, quella medievale, e sono caratterizzate da una forte uniformità delle tecniche costruttive utilizzate.

Il collega Ennio Stella applica alle murature emiliane un coefficiente correttivo pari a 1, il che significa, in accordo con la cultura del laterizio presente nella zona, che l'indice di qualità muraria assegnato alle murature emiliane sia pari a 5, il massimo ammissibile secondo il metodo appena esposto.

Pergola

Per poter confrontare i risultati dei vari metodi di assegnazione degli indici di qualità muraria è necessario calcolare con il *metodo Beta-NTC*, quello relativo agli aggregati del centro storico di Pergola. Si riportano, quindi, le piante degli aggregati A2 e A3, in cui sono state individuate le diverse unità strutturali, necessarie per il calcolo.

Si precisa che le unità strutturali individuate sono desunte da valutazioni di tipo geometrico - costruttivo, senza però avvalersi di indagini diagnostiche supportate da strumentazione specialistica. Questo per dire che quella proposta deve essere considerata solo una ipotesi.



(a) Individuazione delle unità strutturali (US) negli aggregati A2 (a) e A3 (b)

Indici globali di vulnerabilità sismica a confronto

Aggregato A2

A2						
Unità strutturali (Usi)	Area (m ²)	Altezza (m)	Volume (m ³)	Indice qualità muraria dell'US (IQM _{US})		V x IQM _{US}
1	108,76	9,06	985,37	3-A-B-C-E	2,45	2414,15
2	53,48	13,26	709,14	3-A-B-D-E	2,35	1666,49
3	83,55	3,28	274,04	3-A	2,85	781,03
4	19,23	2,8	53,84	3-A-B	2,7	145,38
5	231,37	3,74	865,32	3-A-B-E	2,55	2206,58
6	225,18	3,65	821,91	4-A-B-C	3,8	3123,25
7	29,25	3,67	107,35	5-A	4,75	509,90
tot	750,82		3816,9767			10846,76

Operando la media pesata in relazione alla volumetria delle unità strutturali, si ottiene il valore dell'indice di qualità muraria dell'intero aggregato:

$$IQM_{Beta-NTC} = \frac{\sum_i (V_{Usi} \cdot IQM_{Usi})}{V_{TOT}} = \frac{10846,76}{3816,98} = 2,84$$

Per ottenere il coefficiente correttivo (cc) è necessario dividere per 5 il valore di IQM_S:

$$cc = \frac{IQM_S}{5} = \frac{2,84}{5} = 0,57$$

Gli indici globali, analitico e speditivo, di vulnerabilità sismica ricavati per l'aggregato A2 valgono rispettivamente:

$$V_{GA} = 23,3 \quad , \quad V_{GS} = 25,6$$

Applicando il coefficiente correttivo risulterà:

$$V_{GABeta-Ntc} = \frac{V_{GA}}{cc} = 41 \quad , \quad V_{GSBeta-Ntc} = \frac{V_{GS}}{cc} = 45$$

Aggregato A3

A3						
Unità strutturali (Usi)	Area (m ²)	Altezza (m)	Volume (m ³)	Indice qualità muraria dell'US (IQM _{US})		V x IQM _{US}
1	75,11	2,48	186,27	2-A-B	1,70	316,66
2	34,94	3,11	108,66	3-A-B-C-D-E	2,25	244,49
3	40,90	3,11	127,20	3-A-B-C-D-E	2,25	286,20
4	95,72	4,05	387,67	3-A-B	2,70	1046,70
5	55,90	3,50	195,65	3-A-B	2,70	528,26
6	71,48	2,63	187,99	3-A-B	2,70	507,58
7	74,84	2,98	223,02	3-A-B	2,70	602,16
8	38,92	2,95	114,81	2-A-B	1,70	195,18
9	151,46	2,84	430,15	5-A-B	4,50	1935,66
10	130,53	3,42	446,41	3-A-B-C-D-E	2,25	1004,43
11	44,03	3,27	143,98	5-A-B	4,50	647,90
12	22,85	2,34	53,47	5-A-B	4,50	240,61
13	71,91	4,20	302,02	C.A.		0,00
tot	908,59		2907,31			7555,83

Operando la media pesata in relazione alla volumetria delle unità strutturali, si ottiene il valore dell'indice di qualità muraria dell'intero aggregato:

$$IQM_{Beta-Ntc} = \frac{\sum_i (V_{Usi} \cdot IQM_{Usi})}{V_{TOT}} = \frac{7555,83}{2907,31} = 2,59$$

Per ottenere il coefficiente correttivo (cc) è necessario dividere per 5 il valore di IQM_S:

$$cc = \frac{IQM_S}{5} = \frac{2,59}{5} = 0,52$$

Gli indici globali, analitico e speditivo, di vulnerabilità sismica ricavati per l'aggregato A2 valgono rispettivamente:

$$V_{GA} = 25,3 \quad , \quad V_{GS} = 27,1$$

Applicando il coefficiente correttivo risulterà:

$$V_{GABeta-Ntc} = \frac{V_{GA}}{cc} = 48,6 \quad , \quad V_{GSBeta-Ntc} = \frac{V_{GS}}{cc} = 52,1$$

7.2.1.1 Osservazioni

Come specificato dal collega Ennio Stella, ribadendo la notevole opinabilità con la quale sono stati assegnati i valori della qualità muraria alle diverse unità strutturali, basandosi su semplici analisi visive per l'impossibilità di svolgere prove diagnostiche, i dati sono interessanti da commentare.

Applicando il metodo senza tenere conto della qualità muraria, il caso di Pergola veniva a collocarsi ai posti più bassi della classifica di vulnerabilità, evidenziando quindi un basso livello di rischio.

Applicando il *metodo Beta-NTC* per il calcolo dell'indice di qualità muraria, si ottiene una classifica del tutto diversa dalla precedente, confermando l'importanza del contributo delle caratteristiche delle apparecchiature murarie nel calcolo della vulnerabilità sismica. Si può notare, infatti come gli aggregati del centro storico di Pergola si collocano nelle postazioni più alte della classifica in totale disaccordo con i risultati ottenuti dalle osservazioni geometrico/costruttive volte all'individuazione dei più probabili modi di danno in caso di sisma.

Di seguito è riportata la nuova classifica:

Isolati	Indice globale analitico di vulnerabilità (<i>Beta-NTC</i>)	Indice globale speditivo di vulnerabilità (<i>Beta-NTC</i>)	Isolati
Pergola A3	48,6	52,1	Pergola A3
Carpi 19	41,2	45	Pergola A2
Pergola A2	41,0	41,7	Carpi 49
Carpi 49	36,7	38,7	Carpi 36
Carpi 36	35,9	38,5	Carpi 19
Crevalcore XVIII	35	36,6	San Felice
San Felice	34,5	34,1	Crevalcore XVIII
Castelfranco Cappi - 3	31,6	32,2	Castelfranco Cappi - 3
Castelfranco Cuccoli -14	31,1	31,2	Castelfranco Cuccoli -14
Mirandola 27	29,9	29,1	Mirandola 27
Castelfranco Isolati 5-6	26,0	27,4	Castelfranco Isolati 5-6

Confronto n°2: contributo dell'indice di qualità muraria calcolato con metodo *Beta-NTC*

7.2.2 Contributo della qualità muraria nel metodo IQM (IQM)

Come accennato, questo metodo per la definizione dell'indice di qualità muraria, risulta essere meno speditivo del metodo utilizzato dal collega Stella, in quanto prende a riferimento un numero maggiore di variabili, anche se comunque desumibili dalla sola osservazione visiva. Anche in questo caso viene denominato *metodo IQM* per comodità di esposizione.

Grazie alle ricerche svolte dagli autori Borri Antonio, Cangi Giovanni, De Maria Alessandro e Paci Giuseppe, è stato messo a punto un sistema per il calcolo dell'indice di qualità muraria, che prevede valori variabili da 0 a 10, dipendenti dalla tipologia muraria esaminata e dalla direzione dell'azione sollecitante.

La qualità muraria dipende, infatti, anche dalle azioni che agiscono sull'apparecchiatura; occorre distinguere, quindi, le azioni per tipologia di carico:

- a. Verticali
- b. Orizzontali ortogonali al piano della muratura
- c. Orizzontali nel piano della muratura

Tipologie che possono essere considerate buone o accettabili per un tipo di azione possono non esserlo per un tipo di carico differente.

Fatta questa dovuta distinzione, i parametri da analizzare per determinare l'indice di qualità muraria sono sette e per ognuno bisognerà esprimere un giudizio di rispetto (R), parziale rispetto (PR) oppure non rispetto (NR).

Anche in questo caso come nel *metodo Beta-NTC*, l'elemento da analizzare è il singolo pannello murario che se appare costruito a "regola dell'arte", garantirà compattezza e monolitismo, il che porterà l'apparecchiatura a rispondere in maniera corretta alla sollecitazione sismica. Le caratteristiche costruttive, che sono prese a riferimento, e considerate la "regola dell'arte" qualora risultino di grado massimo, sono:

Indici globali di vulnerabilità sismica a confronto

- a. Malta / contatto tra gli elementi (MA.)
- b. Ingranamento trasversale / diatoni (P.D.)
- c. Forma degli elementi (F.EL.)
- d. Dimensione degli elementi (D.EL.)
- e. Sfalsamento fra giunti verticali (S.G.)
- f. Presenza di filari orizzontali (OR.)
- g. Resistenza adeguata degli elementi (R.EL.)

Per attribuire un giudizio sulla qualità della muratura, come si è detto, è indispensabile valutare, analiticamente e qualitativamente, in che misura siano rispettati tali parametri della regola dell'arte.

Dopo questa operazione sarà possibile comporre i sette giudizi parziali in una valutazione globale sintetica espressa dalla formula:

$$IQM = RE.EL. \cdot (OR + PD + F.EL + SG + D.EL + MA)$$

Di seguito sono riportate le tabelle per l'attribuzione dei sette giudizi.

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

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

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

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

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

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

Indici globali di vulnerabilità sismica a confronto

Si riporta anche la tabella con i punteggi da attribuire ai parametri della regola dell'arte in funzione del grado di rispetto e della direzione dell'azione sollecitante.

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

Compreso come attribuire ai paramenti murari il giusto valore di qualità, il passo successivo sta appunto nel capire come questa influenzi l'indice globale di vulnerabilità.

Nel paragrafo precedente si è visto come con il *metodo Beta-NTC*, si faccia riferimento al singolo aggregato, distinguendo le varie unità strutturali. Questo concetto, seppur adatto al caso di Lanciano, può risultare di difficile applicazione nei comuni in cui gli aggregati non presentino chiare e facilmente individuabili fasi di evoluzione della fabbrica, che permetterebbero la localizzazione delle singole unità strutturali.

Per la definizione del coefficiente correttivo da applicare al calcolo dell'indice globale di vulnerabilità, si sceglie, con il presente metodo, di non fare più riferimento alle unità strutturali, tantomeno al singolo aggregato edilizio, ma di valutare la qualità muraria riferendosi alla totalità del centro storico.

Il procedimento, del tutto ipotetico e privo, ancora, di studi sulla validità del metodo, consiste nel definire per ogni centro storico 3 tipologie di apparecchiature murarie, quelle che in percentuale si presentano maggiormente nel tessuto urbano.

Di queste 3 tipologie viene calcolato l'indice di qualità muraria attraverso le tabelle sopra riportate, ottenendo così tre valori per ogni tipologia, riferiti alle tre tipologie di carico prese in considerazione (verticale, orizzontale nel piano, orizzontale fuori dal piano).

Operando, poi una media ponderata, in relazione alle percentuali di presenza della tipologia nel tessuto urbano oggetto di studio, si ottiene l'indice di qualità muraria riferito all'intero centro storico.

Come detto, gli indici di qualità muraria potranno avere valori variabili da 0 a 10, di cui il 10 esprime il grado massimo di qualità.

Per ottenere quindi il coefficiente da applicare all'indice globale di vulnerabilità, bisognerà dividere l'indice di qualità muraria ottenuto per 10.

Si ottengono, quindi, tre coefficienti correttivi, riferiti alle diverse tipologie di carico, che dovranno essere applicati, non più come nel *metodo Beta-NTC* all'indice globale di vulnerabilità, ma ai singoli indici di vulnerabilità relativamente all'azione presa in considerazione.

Nel calcolo dell'indice di vulnerabilità sismica non sono state considerate azioni verticali, generalmente associate al peso dei carichi portati e propri della struttura.

Per quanto riguarda gli indici di vulnerabilità, i ribaltamenti e le lesioni da falsi puntoni sono generalmente associati ad azioni fuori dal piano mentre la vulnerabilità a taglio è dovuta ad azioni nel piano della muratura. I coefficienti correttivi, poi, non vengono applicati agli indici di disconnessioni murarie e a quelli di martellamento in quanto questi valori non vengono influenzati dalla qualità muraria. Qualora se ne tenesse conto, non andrebbero applicati neanche alla vulnerabilità da muri in falso per lo stesso motivo.

7.2.2.1 Caso I

Per poter confrontare i risultati con quelli ottenuti nei casi di studio precedenti, bisogna fare riferimento di nuovo alle apparecchiature emiliane, come nel *metodo Beta-NTC*, considerandole della migliore qualità possibile.

L'Emilia

Come detto le murature emiliane, in questo caso, vengono considerate costruite a regola d'arte e di conseguenza gli verrà assegnato un coefficiente correttivo pari a 1 (10/10). Per questo motivo i risultati ottenuti nei casi di studio precedenti non varieranno.

Indici globali di vulnerabilità sismica a confronto

Pergola

Nel caso di studio di Pergola, avendo la possibilità di osservare da vicino le apparecchiature murarie, si individuano, come spiegato in precedenza, le tre tipologie murarie più diffuse. Avendo, inoltre, a disposizione esempi e schede descrittive per alcuni casi di murature, studiati dagli stessi autori del metodo di definizione dell'indice di qualità muraria, si è verificato che tra queste fossero presenti anche le tipologie riscontrate a Pergola. Effettivamente, le tipologie più comuni nel tessuto urbano di Pergola sono quelle individuate dalle schede 05, 09 e 11 riportate in Allegato B.

Per lo studio di altri centri storici, qualora non siano presenti le tipologie murarie tra le schede riportate, si dovrà procedere alla definizione dell'indice di qualità muraria come esposto precedentemente.

I risultati relativi a Pergola vengono riportati nella seguente tabella.

Tipologia di riferimento	IQM			% presenza	IQM * %			IQM _{PERGOLA}
	Azioni verticali	Azioni fuori dal piano	Azioni nel piano		Azioni verticali	Azioni fuori dal piano	Azioni nel piano	
NUM. 05	8	9	8,5	20%	1,6	1,8	1,7	4,2 4,2/10
NUM. 09	4,5	4	3,5	40%	1,8	1,6	1,4	
NUM. 11	2	1,5	2	40%	0,8	0,6	0,8	
					4,2	4,0	3,9	CC

Confrontando gli indici di qualità muraria ottenuti per il centro storico di Pergola con quelli che si è deciso di applicare alle apparecchiature Emiliane, si nota immediatamente come la qualità muraria a Pergola sia nettamente inferiore.

Una volta determinato il valore della qualità muraria per il centro storico di Pergola, si procede, poi, con l'applicare i coefficienti correttivi agli indici di vulnerabilità per gli aggregati oggetto di studio (A2 e A3).

	Pergola		coefficiente correttivo	Pergola	
	Isolato A2	Isolato A3		Isolato A2	Isolato A3
Ribaltamento delle facciate	41,1%	42,0%	0,4	102,8%	105,0%
Ribaltamento del timpano	15,0%	6,8%	0,4	37,5%	17,0%
Diconessioni murarie	19,7%	27,8%	/	19,70%	27,8%
Lesioni da falsi puntoni	23,9%	18,1%	0,4	59,8%	45,3%
Vulnerabilità a taglio	12,1%	34,7%	0,39	31,0%	89,0%
Martellamento da solai sfalsati	4,5%	11,8%	/	4,5%	11,8%
Martellamento da c.a.	0%	0%	/	0%	0%
Vga(IQM)	23,3	25,3		52,9	55,2

	Pergola		coefficiente correttivo	Pergola	
	Isolato A2	Isolato A3		Isolato A2	Isolato A3
Stima trasformazione in pianta	41,1%	42,0%	/	41,1%	42,0%
Stima trasformazione in alzato	33,0%	38,6%	0,4	82,5%	96,5%
Vgs(IQM)	25,6	27,1		51,1	55,3

Si riporta la nuova classifica di vulnerabilità

Isolati	Indice globale analitico di vulnerabilità (IQM)	Indice globale speditivo di vulnerabilità (IQM)	Isolati
Pergola A3	55,2	55,3	Pergola A3
Pergola A2	52,9	51,1	Pergola A2
Carpi 19	41,2	41,7	Carpi 49
Carpi 49	36,7	38,7	Carpi 36
Carpi 36	35,9	38,5	Carpi 19
Crevalcore XVIII	35	36,6	San Felice
San Felice	34,5	34,1	Crevalcore XVIII
Castelfranco Cappi - 3	31,6	32,2	Castelfranco Cappi - 3
Castelfranco Cuccoli -14	31,1	31,2	Castelfranco Cuccoli -14
Mirandola 27	29,9	29,1	Mirandola 27
Castelfranco Isolati 5-6	26,0	27,4	Castelfranco Isolati 5-6

Indici globali di vulnerabilità sismica a confronto

7.2.2.2 Caso II

Qualora non si volesse prendere il caso dell'Emilia come parametro di riferimento, ed ottenere così dei valori, si potrebbe dire "assoluti", si dovrebbe calcolare un indice di qualità muraria anche per i comuni emiliani. Per completare lo studio si riporta anche questo confronto.

Tipologia di riferimento	IQM			% presenza	IQM * %			IQM _{EMILIA}
	Azioni verticali	Azioni fuori dal piano	Azioni nel piano		Azioni verticali	Azioni fuori dal piano	Azioni nel piano	
NUM. 03	6	7	5	40%	2,4	2,8	2,0	
NUM. 05	8	9	8,5	40%	3,2	3,6	3,4	
NUM. 21	6,5	7	7	20%	1,3	1,4	1,4	
					6,9	7,8	6,8	IQM_{EMILIA}
					6,9/10	7,8/10	6,8/10	CC

L'Emilia

Vista l'impossibilità di condurre rilievi approfonditi nei diversi comuni emiliani, per determinare la qualità muraria di questi centri urbani si fa riferimento ad uno studio relativo alle murature emiliane, condotto dagli stessi autori del metodo dopo il terremoto del 2012 (Allegato A).

Come già più volte ricordato, la tradizione costruttiva del laterizio risulta molto radicata nella cultura emiliana e appare spesso in apparecchiature con elementi di forma regolare e con la presenza di filari orizzontali.

Con il *metodo Beta-NTC* e nel *Caso I* appena discusso, si fa riferimento alle murature emiliane conferendo loro un valore di qualità muraria massimo (5 su 5 nel primo, e 10 su 10 nel secondo caso); col presente metodo invece, visti anche i risultati riportati dalla letteratura, per i quali nonostante le apparecchiature emiliane siano costruite secondo i dettami della regola dell'arte, sotto l'azione sismica del terremoto del 2012, avrebbero dovuto rispondere in modo migliore, si tenderà a conferire un grado di qualità muraria leggermente inferiore.

Tramite lo stesso procedimento assunto per il calcolo dell'indice di qualità muraria di Pergola, si prendono a riferimento, supportati dagli studi presenti in letteratura, le tre tipologie che si ritengono più diffuse nel territorio emiliano. Facendo riferimento alle schede riportate in Allegato B si considerano le tipologie riportate nelle schede 03, 05, e 21.

Si riportano di seguito le tabelle riassuntive relative ai paesi dell'Emilia presi in considerazione, per evidenziare l'applicazione dei coefficienti correttivi ai vari indici di vulnerabilità, tramite i quali è stato possibile ricalcolare gli indici globali di vulnerabilità sismica.

Crevalcore

	Crevalcore		coefficiente correttivo	Crevalcore	
	Isolato	XVIII		Isolato	XVIII
Ribaltamento delle facciate	58,8%		0,78	75,4%	
Ribaltamento del timpano	10%		0,78	12,9%	
Diconessioni murarie	25,4%		/	25,4%	
Lesioni da falsi puntoni	30,6%		0,78	39,2%	
Vulnerabilità a taglio	44,0%		0,68	64,7%	
Martellamento da solai sfalsati	0%		/	0%	
Martellamento da c.a.	2,9%		/	2,9%	
Vga(IQM)	35,0		→	42,2	

	Crevalcore		coefficiente correttivo	Crevalcore	
	Isolato	XVIII		Isolato	XVIII
Stima trasformazione in pianta	22,9%		/	22,9%	
Stima trasformazione in alzato	57,1%		0,78	73,2%	
Vgs(IQM)	34,1		→	41,2	

Indici globali di vulnerabilità sismica a confronto

Mirandola

	Mirandola	coefficiente correttivo	Mirandola
	Isolato 27	→	Isolato 27
Ribaltamento delle facciate	59,3%	0,78	76,0%
Ribaltamento del timpano	11%	0,78	14,1%
Diconessioni murarie	28,4%	/	28,4%
Lesioni da falsi puntoni	13,9%	0,78	17,8%
Vulnerabilità a taglio	34,5%	0,68	50,7%
Martellamento da solai sfalsati	0%	/	0%
Martellamento da c.a.	0%	/	0%
Vga(IQM)	29,9	→	35,7

	Mirandola	coefficiente correttivo	Mirandola
	Isolato 27	→	Isolato 27
Stima trasformazione in pianta	25,3%	/	25,3%
Stima trasformazione in alzata	58,1%	0,78	74,5%
Vgs(IQM)	29,1	→	34,8

San Felice sul Panaro

	San Felice sul Panaro	coefficiente correttivo	San Felice sul Panaro
	Isolato	→	Isolato
Ribaltamento delle facciate	45,2%	0,78	57,9%
Ribaltamento del timpano	9,3%	0,78	11,9%
Diconessioni murarie	26,2%	/	26,2%
Lesioni da falsi puntoni	36,9%	0,78	47,3%
Vulnerabilità a taglio	60,3%	0,68	88,7%
Martellamento da solai sfalsati	0%	/	0%
Martellamento da c.a.	0%	/	0%
Vga(IQM)	34,5	→	41,7

	San Felice sul Panaro	coefficiente correttivo	San Felice sul Panaro
	Isolato	→	Isolato
Stima trasformazione in pianta	35,0%	/	35,0%
Stima trasformazione in alzata	47,2%	0,78	60,5%
Vgs(IQM)	36,6	→	43,9

Carpi

	Carpi			coefficiente correttivo	Carpi		
	Isolato 19	Isolato 36	Isolato 49	→	Isolato 19	Isolato 36	Isolato 49
Ribaltamento delle facciate	74,4%	66,2%	56,6%	0,78	95,4%	84,9%	72,6%
Ribaltamento del timpano	18,5%	13,7%	9,0%	0,78	23,7%	17,6%	11,5%
Diconessioni murarie	32,7%	29,8%	28,8%	/	32,70%	29,8%	28,80%
Lesioni da falsi puntoni	10,9%	5,8%	20,6%	0,78	14,0%	7,4%	26,4%
Vulnerabilità a taglio	91,6%	75,8%	92,1%	0,68	100,0%	100,0%	100,0%
Martellamento da solai sfalsati	0%	0%	0%	/	0%	0%	0%
Martellamento da c.a.	10%	21,5%	0,0%	/	10%	21,5%	0,0%
Vga(IQM)	41,2	35,9	36,7	→	46,4	41,7	41,4

	Carpi			coefficiente correttivo	Carpi		
	Isolato 19	Isolato 36	Isolato 49	→	Isolato 19	Isolato 36	Isolato 49
Stima trasformazione in pianta	26,1%	30,7%	50,2%	/	26,1%	30,7%	50,2%
Stima trasformazione in alzata	69,1%	75,4%	60,8%	0,78	88,6%	96,7%	77,9%
Vgs(IQM)	38,5	38,7	41,7	→	43,5	45,1	46,5

Castelfranco Emilia

	Castelfranco Emilia			coefficiente correttivo	Castelfranco Emilia		
	Isolato 3	Isolato 14	Isolati 5-6	→	Isolato 3	Isolato 14	Isolati 5-6
Ribaltamento delle facciate	67,6%	57,2%	40,6%	0,78	86,7%	73,3%	52,1%
Ribaltamento del timpano	5,6%	25,4%	18,5%	0,78	7,2%	32,6%	23,7%
Diconessioni murarie	21,6%	38,1%	14,9%	/	21,6%	38,1%	14,9%
Lesioni da falsi puntoni	12,7%	10,8%	26,9%	0,78	16,3%	13,8%	34,5%
Vulnerabilità a taglio	37,7%	27,5%	52,9%	0,68	55,4%	40,4%	77,8%
Martellamento da solai sfalsati	0%	0%	8,7%	/	0%	0%	8,7%
Martellamento da c.a.	13%	6,2%	6,2%	/	13%	6,2%	6,2%
Vga(IQM)	31,6	31,1	26,0	→	37,8	36,4	35,5

	Castelfranco Emilia			coefficiente correttivo	Castelfranco Emilia		
	Isolato 3	Isolato 14	Isolati 5-6	→	Isolato 3	Isolato 14	Isolati 5-6
Stima trasformazione in pianta	13,8%	34,8%	30,0%	/	13,8%	34,8%	30,0%
Stima trasformazione in alzata	75%	59,4%	37,0%	0,78	95,6%	76,2%	47,4%
Vgs(IQM)	32,2	31,2	27,4	→	38,9	36,6	36,8

Indici globali di vulnerabilità sismica a confronto

Pergola

Per quanto riguarda Pergola si fa riferimento ai calcoli effettuati del caso precedente.

Tipologia di riferimento	IQM			% presenza	IQM * %			IQM _{PERGOLA}
	Azioni verticali	Azioni fuori dal piano	Azioni nel piano		Azioni verticali	Azioni fuori dal piano	Azioni nel piano	
NUM. 05	8	9	8,5	20%	1,6	1,8	1,7	4,2
NUM. 09	4,5	4	3,5	40%	1,8	1,6	1,4	
NUM. 11	2	1,5	2	40%	0,8	0,6	0,8	4,0
					4,2/10	4,0/10	3,9/10	CC

Aggregati A2 e A3

	Pergola		coefficiente correttivo	Pergola	
	Isolato A2	Isolato A3		Isolato A2	Isolato A3
Ribaltamento delle facciate	41,1%	42,0%	0,4	102,8%	105,0%
Ribaltamento del timpano	15,0%	6,8%	0,4	37,5%	17,0%
Diconessioni murarie	19,7%	27,8%	/	19,70%	27,8%
Lesioni da falsi puntoni	23,9%	18,1%	0,4	59,8%	45,3%
Vulnerabilità a taglio	12,1%	34,7%	0,39	31,0%	89,0%
Martellamento da solai sfalsati	4,5%	11,8%	/	4,5%	11,8%
Martellamento da c.a.	0%	0%	/	0%	0%
Vga(IQM)	23,3	25,3		52,9	55,2

	Pergola		coefficiente correttivo	Pergola	
	Isolato A2	Isolato A3		Isolato A2	Isolato A3
Stima trasformazione in pianta	41,1%	42,0%	/	41,1%	42,0%
Stima trasformazione in alzato	33,0%	38,6%	0,4	82,5%	96,5%
Vgs(IQM)	25,6	27,1		51,1	55,3

Di seguito è riportata la nuova classifica di vulnerabilità.

Isolati	Indice globale analitico di vulnerabilità (IQM)	Indice globale speditivo di vulnerabilità (IQM)	Isolati
Pergola A3	55,2	55,3	Pergola A3
Pergola A2	52,9	51,1	Pergola A2
Carpi 19	45,7	45,8	Carpi 49
Carpi 49	40,7	44,3	Carpi 36
Crevalcore XVIII	41,2	42,9	San Felice
Carpi 36	41,1	42,8	Carpi 19
San Felice	40,7	40,2	Crevalcore XVIII
Castelfranco Cappi - 3	37	38	Castelfranco Cappi - 3
Castelfranco Cuccoli -14	35,6	36,0	Castelfranco Isolati 5-6
Mirandola 27	34,9	35,8	Castelfranco Cuccoli -14
Castelfranco Isolati 5-6	34,7	34	Mirandola 27

Anche in questi casi, come nel caso del calcolo dell'indice di qualità muraria con il *metodo Beta-NTC*, si riscontra una risalita fino ai primi posti della classifica, per gli aggregati studiati nel comune di Pergola.

Questo ci porta a poter dire che entrambi i metodi portano ad un consistente peggioramento della vulnerabilità nelle zone in cui la qualità muraria risulta più scarsa.

Questo approccio, quindi, fatte le dovute precisazioni iniziali, sembra essere un valido aiuto per un progressivo perfezionamento del metodo adottato per la valutazione della vulnerabilità sismica degli aggregati edilizi storici.

Bibliografia

- GIUFFRÈ A., *Sicurezza e conservazione dei centri storici. Il caso di Ortigia*, Bari, Editori Laterza, 2000
- CANGI G., *Manuale del recupero strutturale e antisismico*, Roma, DEI, 2005
- GIUFFRÈ A., *Lecture sulla meccanica delle murature storiche*, Ed. Kappa, Roma 1991
- BORRI A., DE MARIA A., *L'indice di qualità muraria (IQM): Evoluzione ed Applicazione nell'Ambito delle Norme Tecniche del 2008*, Atti del XIII Convegno Nazionale L'Ingegneria Sismica in Italia, Bologna, 2009
- BORRI A., CANGI G., DE MARIA A., *Vulnerabilità sismica del centro storico di Gubbio. Atti del XII Convegno Nazionale L'Ingegneria Sismica in Italia*, Pisa, 2007
- Min. Infrastrutture, D.M. 14.01.2008, *Norme Tecniche per le Costruzioni*. Suppl. Ord. Alla G.U. del 04.02.2008
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, *Norme tecniche per le costruzioni*, Roma, 2008

Tesi consultate

- STELLA E., *La vulnerabilità degli aggregati storici analizzata a partire dalla caratterizzazione costruttiva: il caso di studio del centro storico di Lanciano*, A.A. 2013/2014
- FERRIANI C., *La vulnerabilità sismica dei centri storici indagata attraverso la caratterizzazione costruttiva: un caso di studio in comune di Castelfranco Emilia*, A.A.2013/2014

Conclusioni

A conclusione del progetto di tesi è doveroso fare delle considerazioni in merito al lavoro svolto e proporre alcune idee per gli sviluppi futuri del metodo.

- Nell'introduzione ci si poneva come obiettivo l'analisi della vulnerabilità sismica degli aggregati edilizi, partendo dalla valutazione delle caratteristiche tipologiche e costruttive dei centri storici.

Nel caso specifico sono stati valutati due aggregati della città di Pergola, ottenendo, così, gli indici globali di vulnerabilità sismica tramite due metodi:

1. *Metodo analitico*, supportato da un lavoro di ricerca molto approfondito, che ha visto l'utilizzo di fonti indirette, quali quelle archivistiche e catastali, e di fonti dirette di rilievo ed analisi visiva in sito; il tutto per avere una chiara visione delle fasi evolutive della fabbrica dell'aggregato, in modo da poter valutare, con ogni probabilità, quelli che sono i meccanismi di danno associati alle vulnerabilità riscontrate;
2. *Metodo speditivo*, di matrice meno specialistica, che, avvalendosi dei soli rilievi geometrico - descrittivi degli aggregati, ha permesso di giungere ad una conoscenza valida, ma meno approfondita, delle ipotesi evolutive e dei principali meccanismi di collasso associati all'aggregato edilizio.

I risultati ottenuti dai due metodi sono stati messi a confronto per avvalorare di nuovo l'ipotesi di convergenza dei risultati, già comprovata in casi di studio precedenti.

Attraverso la registrazione di questi valori, le pubbliche amministrazioni possederebbero un valido strumento per monitorare la pericolosità, nel tempo, degli aggregati, ed indirizzare gli interventi di manutenzione, promossi dai vari privati, verso il miglioramento delle vulnerabilità che interessano anche più unità edilizie, per aumentare il livello di sicurezza dell'intero isolato.

Perché le amministrazioni possano trarre beneficio dall'applicazione del metodo, il lavoro, che in questa tesi ha interessato due aggregati, dovrebbe essere esteso a tutto il centro storico.

- Il confronto dei dati ottenuti dalla valutazione del centro storico di Pergola con quelli conseguiti in altri casi di studio lontani dal contesto pergolese, che dunque interessano aggregati con caratteristiche costruttive differenti, ha posto il problema della valutazione dell'indice di qualità muraria e della sua influenza in termini di vulnerabilità sismica.

Il calcolo della qualità muraria è stato possibile grazie all'applicazione di due metodi differenti, chiamati per comodità *metodo Beta-NTC* e *metodo IQM*.

Il primo, più speditivo, propone di attribuire un indice di qualità muraria alla singola unità strutturale. Per ottenere il valore riferito all'aggregato si opera una media ponderata in base alle volumetrie delle unità strutturali. Il valore può variare da 0 a 5, dove 5 è il valore associato alla regola dell'arte. In questo caso il coefficiente correttivo, variabile da 0 a 1, da applicare all'indice globale di vulnerabilità, sarà dato dal rapporto tra il valore dell'indice di qualità muraria relativo all'aggregato oggetto di studio e il valore massimo di qualità muraria (5).

Il secondo, di matrice più analitica, propone la valutazione dell'indice di qualità muraria della singola apparecchiatura, tenendo in considerazione molteplici fattori.

In definitiva si ottengono, per ogni apparecchiatura, tre valori differenti riferiti all'azione presa in considerazione (azione verticale, azione fuori dal piano, azione nel piano), variabili da 0 a 10, dove 10 esprime la regola dell'arte.

La proposta sviluppata in questo lavoro di tesi è stata quella di riferire l'indice di qualità muraria all'intero centro storico, prendendo le tre apparecchiature murarie più diffuse e valutandole con il secondo metodo. Definite le tre tipologie murarie si è calcolata la media ponderata tra i valori di qualità muraria, in riferimento alla percentuale di presenza di ogni apparecchiatura nel centro storico, ottenendo, così, tre indici.

A questo punto non si è potuto applicare un unico valore correttivo all'indice globale, come nel caso del *metodo Beta-NTC*, in cui l'indice di qualità muraria non dipendeva dalla tipologia di azione presa in considerazione.

Conclusioni

Il metodo proposto vede l'attribuzione dei valori correttivi ai singoli indici di vulnerabilità, in relazione all'azione considerata. Con gli indici di vulnerabilità verranno ricalcolati, coi dovuti pesi, gli indici globali di vulnerabilità sismica.

Gli indici correttivi variano sempre da 0 a 1 e vengono calcolati come nel caso *Beta-NTC*, facendo riferimento, però, ad un valore massimo di 10 e non più di 5.

L'applicazione dei due metodi ai casi di studio emiliani e a quello di Pergola ha portato alla luce la notevole influenza che la qualità muraria possiede nella valutazione della vulnerabilità sismica degli aggregati edilizi storici. Questi, infatti, hanno portato a valori molto più elevati rispetto a quelli calcolati senza considerare questo contributo, capovolgendo le classifiche ottenute inizialmente.

Pare quindi necessario tenere conto del contributo dell'indice di qualità muraria, soprattutto nell'ambito del confronto tra realtà molto diverse tra loro, a causa di differenti fattori geografici, storici e culturali.

A tale proposito, si propone di valutare l'ipotesi di dividere il territorio nazionale in macro-zone omogenee dal punto di vista costruttivo, sia nella tipologia di paramento che nei materiali utilizzati, ed assegnare ad ogni macro-zona un indice di qualità muraria. In questo modo nel calcolo dell'indice di vulnerabilità sismica si terrebbe conto del contributo della qualità muraria in maniera assoluta, ed il metodo potrebbe essere applicato in zone anche molto differenti dal punto di vista geo-materiale e delle tecniche costruttive, ottenendo risultati comparabili a livello nazionale.

Allegato A

Caratterizzazione meccanica delle murature (anche alla luce del recente sisma in Emilia) e interpretazione delle prove sperimentali a taglio

Antonio Borri

DICA – Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale. Università degli Studi di Perugia. Via G. Duranti 93, 06125 Perugia

Giovanni Cangi

Libero professionista, Città di Castello (PG)

Alessandro De Maria

Servizio Controllo Costruzioni e Protezione Civile. Provincia di Perugia. Via Palermo 106, 06129 Perugia



Keywords: prova compressione diagonale, prova taglio-compressione, attrito

ABSTRACT

Nel presente lavoro si focalizza l'attenzione su alcuni aspetti del comportamento della muratura in laterizio con particolare riferimento alle murature dell'Emilia Romagna colpite dal recente sisma. Si affronta la problematica delle pareti murarie sottoposte ad azioni orizzontali parallele al proprio piano e si propongono alcune tecniche innovative di rinforzo che si ritengono idonee per tali tipologie murarie. Si mostrano inoltre i risultati di alcune sperimentazioni condotte in Emilia dopo il sisma su murature in mattoni e malta di scarsa qualità, sia non rinforzate che rinforzate con intonaco armato con GFRP. Si valutano gli effetti del rinforzo sulla risposta globale degli edifici mostrando i risultati dell'analisi pushover prevista dalle vigenti NTC 2008 su un edificio. Infine si propone un diverso criterio di interpretazione dei risultati delle prove di taglio compressione in grado di dare spiegazione della differenza fra i risultati di tali prove ed i risultati delle prove di compressione diagonale condotte sulla stessa tipologia muraria. Tale criterio considera il contributo resistente dell'attrito che esplica il suo massimo effetto in presenza di carichi verticali e su murature con filari orizzontali, quindi tipicamente nel caso delle murature in mattoni e in particolare quando esse siano sottoposte a prove di taglio compressione.

1 OSSERVAZIONI SUL CAMPO PER LE MURATURE EMILIANE

Il sisma che nel maggio 2012 ha colpito l'Emilia Romagna ha evidenziato in molti casi un cattivo comportamento degli edifici in muratura. Eppure nel caso delle murature emiliane, quasi tutte in mattoni, la presenza di un materiale "nobile" come il laterizio, con elementi di forma regolare e con filari orizzontali avrebbe fatto sperare in una risposta strutturale migliore. In quei luoghi, per evidenti motivazioni geomorfologiche, non si disponeva certo di pietra come in altre zone montuose, collinari o in prossimità di fiumi, mentre, al contrario, vi era abbondanza di argilla. Dunque la tradizione costruttiva storica e culturale della terra emiliana si è concretizzata nelle murature in laterizio. In particolare è possibile distinguere ulteriormente in mattoni cotti o mattoni crudi. Questi ultimi rispetto ai mattoni cotti possiedono caratteristiche

di resistenza molto inferiori, hanno una notevole fragilità e soprattutto una durabilità limitata.

L'utilizzo di entrambe le tipologie laterizie in Emilia è presumibilmente da ricondurre a motivazioni sociali e culturali: nei centri più importanti e per le costruzioni di maggiore rilevanza si trovano infatti i mattoni cotti. Nelle zone rurali e più povere la cottura dei mattoni nelle fornaci era evidentemente un costo non sempre sostenibile. Ecco allora che si fa strada la convenienza economica di far essiccare i mattoni al sole e di impiegarli laddove siano protetti dagli agenti atmosferici. La soluzione di compromesso fra la necessità di risparmiare e l'esigenza di resistere a carichi verticali e di durabilità della costruzione è spesso consistita nell'utilizzo di mattoni cotti per le parti dell'edificio esposte alle piogge, mentre per i paramenti interni e per le (rare) pareti interne si utilizzavano laterizi crudi. Una delle conseguenze statiche negative di tale

procedimento costruttivo è che la distinzione di materiali fra fodera esterna e fodera interna delle pareti perimetrali dell'edificio portava quasi sempre anche alla loro separazione strutturale: si sono costruiti spesso muri a doppio paramento di ortostati solo accostati tra loro, senza alcuna connessione o con pochi elementi di collegamento (figura 1). Come noto, tali pareti forniscono una risposta inadeguata se sottoposte ad azioni sismiche fuori piano. Anche tralasciando la problematica sismica il comportamento per carichi verticali di tali murature non sempre si può considerare soddisfacente in quanto le travi lignee dei solai si appoggiano esclusivamente sul paramento interno (quello in mattoni crudi) creando dunque disuniformità nella distribuzione di tensioni verticali all'interno del muro (figura 2).



Figura 1. Il crollo ha messo in evidenza il paramento esterno in mattoni cotti (di colore tendente al rosso-arancione) e i mattoni crudi disposti sul paramento interno (di colore tendente al grigio-giallo).

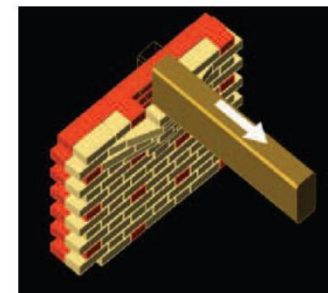


Figura 2. Meccanismo di sfaldamento di travi lignee dei solai appoggiate sul paramento interno in mattoni crudi.

Un'altra tipologia osservata spesso in Emilia è la muratura a due teste con gli elementi disposti tutti di testa (tutti diatonici). È da rilevare che tale tessitura è frequente anche in costruzioni relativamente moderne (figura 3). Il comportamento di queste tipologie murarie nei confronti delle azioni sismiche complanari spesso è stato molto negativo in quanto con una tessitura di soli diatonici si può generare molto facilmente una superficie di rottura che passa solo per i

giunti di malta seguendo una inclinazione prossima ai 45 gradi. Su questa superficie, infatti, deve essere vinta la sola resistenza a trazione della malta, spesso povera o poverissima. Si tratta quindi di una tessitura che può opporre ben poca resistenza rispetto a quella che è la più tipica delle lesioni da sisma, permettendone la formazione senza che sia necessario fratturare alcun mattone.



Figura 3. Crisi di un pannello murario di soli diatonici appartenente ad un edificio di tre piani. Si notino le lesioni di scorrimento passanti per i giunti di malta e la debolezza che, in questo caso, è costituita dall'interfaccia malta-laterizio dotata di poca aderenza.

Naturalmente quanto detto vale a condizione che i giunti di malta si possano effettivamente considerare quale "materiale debole" rispetto al mattone. Dunque la problematica evidenziata vale a maggior ragione se la malta è di cattiva qualità o se essa ha una cattiva aderenza all'interfaccia con il laterizio.

Le malte osservate nelle zone colpite dal sisma sono molto variabili a seconda della zona geografica visitata. Tuttavia la qualità media della malta per quanto riscontrato in quasi tutte le costruzioni crollate o danneggiate può senz'altro definirsi piuttosto povera. Talvolta addirittura è stata osservata malta di fango disposta fra mattoni, anche cotti. Per contro, edifici in cui la malta, invece, appariva di qualità migliore sono stati poco o per nulla danneggiati dal sisma. Anche qui però, risultano fondamentali le modalità operative con cui è stato realizzata la muratura (corretta bagnatura dei mattoni, etc): la mancanza di aderenza all'interfaccia malta-laterizio rende inefficace anche la malta più resistente.

Una terza tipologia muraria osservata con frequenza in Emilia è la muratura in mattoni multistrato. Essa è diffusa soprattutto per edifici alti (4 piani) e per le chiese ed i campanili e torri (vedere figura 4). Nonostante lo spessore elevato

tale muratura non si può dire certo sia stata costruita a regola d'arte: essa nel caso degli edifici crollati (spesso si tratta delle celle campanarie dei campanili o della parte sommitale delle torri) mostra la sua sezione e si presenta con uno strato di mattoni esterni cotti e tessuti in maniera ordinata, talvolta legati al secondo strato con qualche diatono e con una serie di strati interni totalmente indipendenti e scollegati al punto da sembrare addirittura gettati alla rinfusa fra i due paramenti della parete. È chiaro che tale modo di costruire aumenta il peso proprio della stessa muratura, cioè la sua massa, e quindi le sollecitazioni sismiche, senza però aumentare la resistenza della parete in quanto la muratura è del tutto priva di tessitura nello spessore interno.



Figura 4. Muratura multistrato in mattoni come emerge dal crollo di una torre monumentale. San Felice sul Panaro (MO).

Per concludere questa sintetica e qualitativa rassegna sulle tipologie murarie osservate in Emilia bisogna citarne altre due non diffuse come le precedenti ma comunque degne di menzione.

La muratura ad una testa di soli ortostati talvolta è stata osservata nelle costruzioni rurali.

Infine sono state notate anche murature a due teste tessute in maniera più fedele alla regola dell'arte, cioè con un sufficiente numero di diatoni o con tessiture "per filari" di vario tipo e disposizione che di fatto assicuravano la connessione fra paramenti.

2 ESPERIENZE SPERIMENTALI SU MURATURE IN MATTONI IN EMILIA

Come noto, i parametri necessari per la progettazione e la valutazione di sicurezza ai sensi delle NTC 2008 di edifici esistenti in muratura sono le due resistenze medie a compressione f_m ed a taglio τ_0 , i due moduli elastici medi di Young E e di taglio G ed il peso specifico della muratura w .

Risulta evidente che, poiché le tipologie murarie emiliane spesso non sono fra quelle contemplate nelle tabelle delle NTC 2008, i valori effettivi di tali parametri sono di estremo interesse, specialmente nei prossimi mesi nei quali dovrà partire materialmente la ricostruzione delle zone colpite dal sisma del maggio 2012.

Per tali motivi si è più volte cercata la possibilità di effettuare delle prove a taglio su un edificio reale in Emilia e solo dopo numerosi tentativi è stata infine trovata la disponibilità del Comune di San Felice sul Panaro (MO) relativamente a un edificio molto danneggiato dal sisma e destinato alla demolizione.

L'edificio in questione ha tre piani ed è in muratura di mattoni. Nelle porzioni di muratura dove sono state svolte le prove i mattoni risultano quasi tutti cotti e la malta appare di cattiva qualità. I mattoni sono tessuti su due paramenti di ortostati quasi del tutto separati in quanto la densità dei diatoni è minima (figura 5).

Sono state eseguite le seguenti prove sperimentali delle quali si riassumono i risultati:

- prova di compressione diagonale su muratura non rinforzata;
- prova di compressione diagonale su muratura rinforzata (rinforzo mediante intonaco armato con rete GFRP su entrambe le facce);
- prova "brasiliiana" su due carote di muratura;
- tre prove di scorrimento di singoli mattoni;
- prova di taglio compressione su muratura non rinforzata.

La muratura è stata rinforzata con intonaco in malta cementizia, armato con rete in fibra di vetro GFRP (preformata) disposta su entrambe le facce del pannello (vedere figura 5).



Figura 5. Dettagli del rinforzo applicato (intonaco armato con rete preformata in GFRP su entrambe le facce).

L'uso di malta cementizia è dovuto al tempo limitato che si aveva a disposizione per effettuare

le prove in quanto l'edificio doveva essere demolito di lì a breve.

La rete è a maglie quadrate di passo 66 mm. Ogni filo della rete presenta un'area di fibra di 10 mm². Lo spessore complessivo del pacchetto di rinforzo è 30 - 40 mm per lato. Le reti sulle due facce sono solidarizzate mediante perfori passanti armati con barre in GFRP (densità di 4 perfori armati a metro quadro).

Le prove brasiliana e quella di scorrimento hanno evidenziato una notevole variabilità dei parametri meccanici della muratura, dipendente dal particolare punto di prelievo del campione. Si passa da valori prossimi allo zero di coesione della malta a valori discreti di resistenza a trazione per le due carote utilizzate per la prova brasiliana. Resta quindi confermato il disposto normativo che relega l'impiego di tali prove: in LC3 al ruolo di conferma dei risultati ottenuti da prove più estese e significative come quelle diagonali o quelle di taglio-compressione; in LC2 al ruolo di conferma dei valori letti sulle tabelle delle tipologie murarie della Circolare 617/2009.

I risultati ottenuti dalle prove di compressione diagonale, invece, assumono un significato non puntuale ma da riferirsi all'intero maschio murario. Essi sono riportati in tabella 1.

Tabella 1. Risultati di prove di compressione diagonale su muratura in mattoni non rinforzata e rinforzata con GFRP nell'edificio di San Felice sul Panaro (MO).

Prova N.	Dimensioni pannello (cm)	Carico rottura (kN)	Resistenza a taglio τ_0 (N/cm ²)	Modulo a taglio G (MPa)
Pannello originario	118x120x28	19.6	1,89	535
Pannello rinforzato	110x118x38	112.1	8,80	933

Il rinforzo ha garantito, nel caso in esame, un incremento di oltre 4 volte della resistenza a taglio media della muratura mentre il modulo a taglio G è poco meno che raddoppiato. In sintesi è stato ottenuto un apprezzabile incremento di resistenza senza stravolgimenti di rigidità.

Tali considerazioni sono confermate da alcuni esempi di analisi pushover di edifici in muratura svolti sia con una muratura non rinforzata come quella delle prove sperimentali sia con una muratura rinforzata con la tecnica del doppio intonaco armato in GFRP.

Si riporta qui, per brevità, l'esempio della "casa antisismica" ideata e descritta da Pirro Ligorio nel 1576 (figura 6). Per tale edificio si passa da un indice di rischio in termini di PGA di

0,658 ed un periodo proprio di 0,158 sec ad un indice di rischio in termini di PGA di 1,085 ed un periodo proprio di 0,120 sec. L'incremento percentuale di capacità in termini di PGA dovuto al rinforzo delle murature risulta pari a circa il 65% mentre il decremento del periodo proprio è del 32% (Violini, 2013).

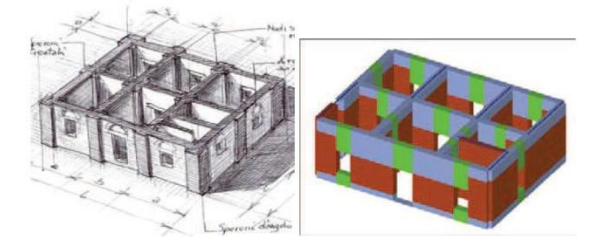


Figura 6. Assonometria e modello della Casa antisismica di Pirro Ligorio.

La prova di taglio compressione sulla muratura non rinforzata è stata eseguita in presenza di una tensione verticale di compressione di circa 0,19 MPa ed ha portato ad una resistenza media tangenziale della muratura τ_0 di 5,7 N/cm².

Tale valore è circa il triplo di quello trovato sulla stessa muratura della stessa parete dello stesso edificio con la prova di compressione diagonale. Per motivi che saranno discussi nel seguito si ritiene che il valore corretto di τ_0 sia quello associato alla prova di compressione diagonale, ossia $\tau_0 = 1,89$ N/cm².

Ne risulta che la muratura non rinforzata si attesta su valori di resistenza e rigidità di gran lunga inferiori a quelli suggeriti nelle NTC 2008 per le murature in mattoni e malta di cattiva qualità (6 - 9 N/cm²).

Per capire l'entità dell'errore che si può commettere a causa della scelta del parametro che descrive la resistenza a taglio della muratura, qualora non si effettuino prove sperimentali e ci si affidi ai valori presenti in Normativa per muratura in mattoni cotti e malta di calce si può fare riferimento alla figura 7 che mostra il confronto tra i domini di collasso per azioni nel piano di un pannello murario con caratteristiche desunte dalle NTC 2008 (muratura in mattoni e malta di calce, LC1) e con caratteristiche meccaniche misurate sperimentalmente.

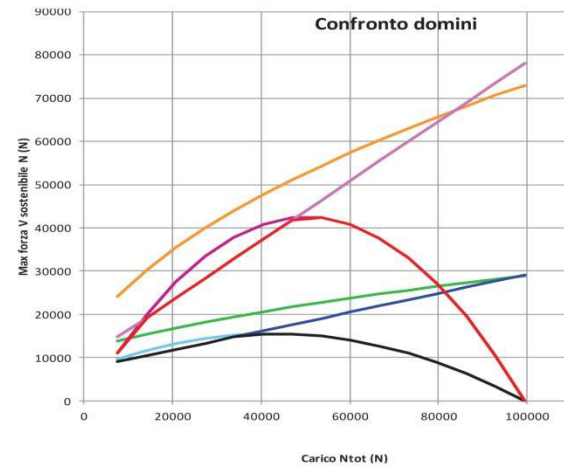


Figura 7. Confronto tra i domini di rottura per pannello murario 300cm*300cm*30cm con τ_0 derivante dalle NTC 2008 e con τ_0 di 1,9 N/cm² ottenuta da prova sperimentale di compressione diagonale. I meccanismi di rottura considerati sono: pressoflessione, taglio scorrimento (Coulomb) e taglio trazione (Turnsek e Cacovic). In rosso l'inviluppo dei domini in accordo alle NTC 2008 e in nero l'inviluppo dei domini in accordo alle prove sperimentali. (Violini, 2013).

3 UNA DIVERSA INTERPRETAZIONE DELLE PROVE DI TAGLIO COMPRESSIONE

In questo paragrafo si propone una spiegazione per la differenza osservata nelle diverse prove a taglio di pannelli murari.

In particolare, provando a taglio compressione (nel seguito, per brevità, TC) e a compressione diagonale (nel seguito, per brevità CD) la stessa muratura si osserva che la resistenza a taglio medio τ_0 ottenuta dalle prove TC risulta generalmente superiore a quella ottenuta dalle prove CD. Se si definisce il coefficiente "a" come rapporto fra le resistenze tangenziali medie ottenute da due prove TC e CD sulla stessa tipologia muraria, si può vedere (tabella 2) come si ottengono valori compresi tra 1 e 3,4.

Nella stessa tabella 2 si nota come per le murature in mattoni pieni e malta risulta un rapporto a compreso fra 2,25 e 3,4 mentre per le murature in pietrame e malta i risultati sono molto più variabili e dispersi, risultando un rapporto a compreso fra 1 e 2,46.

Mediamente il rapporto a è maggiore nel caso delle murature in mattoni pieni e malta che nel caso delle murature in pietrame e malta.

Tabella 2. Valori del rapporto "a" fra la resistenza tangenziale media valutata con prova TC e con prova CD secondo l'interpretazione in regime di tensione biassiale (dalla tesi di laurea di Letizia Violini).

Id	Fonte	Tipologia muraria	a = τ_{0TC} / τ_{0CD}
1	Borri, Corradi, Vignoli, Sellano. 1999-2000	Pietrame e malta di cattiva qualità	2,46
2	Borri, Colle Umberto (PG). 2011	Pietrame. Muratura del 1900	1,7
3	Borri, San Felice sul Panaro. 2012	Mattoni pieni e malta di fango	3,03
4	Borri, Corradi, Laboratorio. 2012	Mattoni pieni e malta di calce	3,4
5	Vignoli, Laboratorio. 2001	Mattoni pieni e malta di calce aerea e sabbia limosa	2,25
6	Magenes, Galasco, Penna, Laboratorio. ReLUIS 2005-2008	Pietrame	1

Poiché la normativa vigente in Italia non fa differenze fra le due tipologie di prova, entrambe valide per accedere al livello di conoscenza LC3 e poiché, come risulta evidente, il valore di resistenza tangenziale media della muratura influenza drasticamente la risposta sismica dell'edificio e la valutazione di sicurezza¹, appare chiaro che la questione posta non è trascurabile.

Dato che la principale differenza fra la prova CD e quella TC risiede nella presenza di forze di compressione, è ragionevole ipotizzare che nello svolgimento delle prove TC le tensioni verticali indotte dal carico verticale attivino risorse resistenti che, invece, nel corso di una prova CD non si attivano.

Il metodo di analisi delle lesioni basato sul riconoscimento della direttrice fessurativa introdotto da Sisto Mastrodicasa può aiutare a comprendere quanto osservato.

Se si costruisce la direttrice fessurativa dopo la rottura di un pannello in mattoni e malta si nota che se il pannello è rotto con prova TC la rottura avviene sostanzialmente con uno scorrimento orizzontale (figura 8, caso a). Infatti in questo tipo di prova l'orizzontalità delle due facce del pannello, quella superiore e quella inferiore, è garantita da appositi dispositivi di vincolo e la

¹ Nel caso delle normative regionali emiliane più recenti sembra addirittura che l'accesso ad una classe di contributo economico piuttosto che ad un'altra possa dipendere dal valore del parametro τ_0 .

forza verticale di compressione schiaccia i filari orizzontali l'uno contro l'altro.

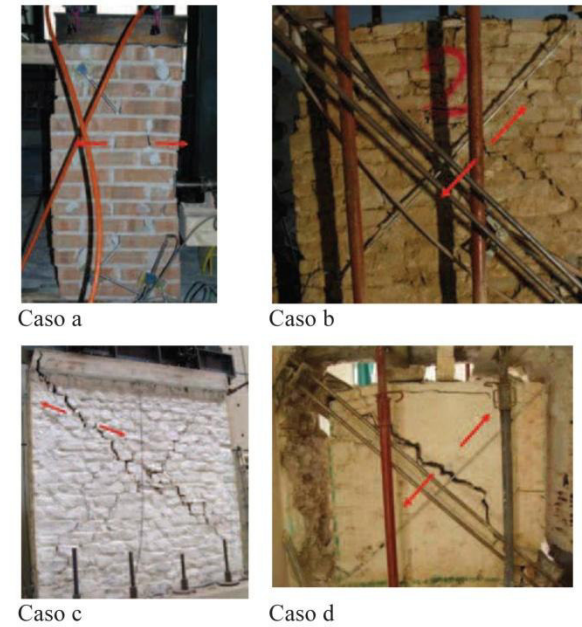


Figura 8. Direttrici fessurative per prove di taglio compressione e di compressione diagonale. Caso a: prova TC su muratura in mattoni; caso b: prova CD su muratura in mattoni; caso c: prova TC su muratura in pietrame (prove eseguite per ReLUIS dal gruppo di lavoro del Prof. Guido Magenes); caso d: prova CD su muratura in pietrame.

Se, invece, lo stesso pannello in mattoni e malta è rotto mediante prova diagonale allora non è in generale sempre vero che lo scorrimento sia orizzontale; in generale è presente anche una componente verticale diretta verso l'alto (figura 8, caso b).

Nel caso di un pannello in pietrame e malta invece le direttrici fessurative mostrano come per la prova di TC si abbiano due componenti di scorrimento: orizzontale e verticale verso il basso, infatti lo scorrimento avviene su una superficie inclinata di un angolo dipendente dall'ingranamento delle pietre (figura 8, caso c).

Infine, per un pannello in pietrame e malta sottoposto a prova diagonale la direttrice fessurativa dopo la rottura mostra nella maggior parte dei casi una componente verticale di scorrimento (figura 8, caso d).

Da quanto detto è possibile ipotizzare che i contributi resistenti di natura coesiva e per attrito da scorrimento non necessariamente debbano agire in maniera distinta durante il complesso fenomeno della rottura nel piano di un pannello murario sottoposto a forza combinata di taglio e compressione.

Il contributo che si potrebbe definire "proprio del materiale" dovuto all'instaurarsi di un regime tensionale tipico di un materiale omogeneo ed isotropo è sempre presente fra le risorse resistenti della muratura. Esso è ben descritto dalla formula di Turnsek e Cacovic, derivante dalla rappresentazione del cerchio di Mohr, e dipende dalla resistenza propria del materiale attraverso la resistenza tangenziale media τ_0 e dallo stato di compressione del pannello murario tenuto in conto tramite la tensione verticale media σ_0 . Naturalmente se la resistenza a trazione del materiale è nulla tale contributo vale zero in quanto si annulla pure τ_0 .

Ma, come noto, la muratura non è un materiale omogeneo e isotropo in quanto è costituita da un assemblaggio di elementi (pietre, blocchi o mattoni) e malta. La sua resistenza a trazione nel senso tensionale del termine coincide con la minore fra la resistenza a trazione della malta e l'adesione della malta agli elementi. Dunque è possibile individuare anche un secondo contributo resistente del pannello murario sottoposto ad azioni nel piano e tale contributo è ben descritto dal termine attritivo della legge di Coulomb. Tale termine non è alternativo alla resistenza tensionale, come invece si suppone attualmente nelle NTC, ma si somma ad essa ed assume valore nullo in assenza di sforzi di compressione verticale.

Inoltre, il termine attritivo segue esattamente le stesse leggi dell'attrito di Coulomb e dunque dipende dall'inclinazione del piano di scorrimento della muratura lesionata, similmente a quanto avviene nel caso dello scorrimento di un mattone su un piano inclinato dove all'angolo di attrito fra il mattone ed il piano si sottrae l'angolo di inclinazione del piano di scorrimento.

Nel caso delle murature il piano di scorrimento è orizzontale per le murature dotate di filari orizzontali il cui lesionamento produce scorrimenti orizzontali (es. per le murature in mattoni) mentre per le murature in pietrame caotiche o poco organizzate il piano di scorrimento consente movimenti non pienamente orizzontali e dunque all'angolo di attrito proprio del materiale bisogna sottrarre l'angolo di scorrimento (pari a zero per le murature a filari orizzontali).

In linea generale pertanto la formulazione che si propone per interpretare il comportamento di un pannello murario sottoposto a prova di taglio compressione è la seguente:

$$\frac{T_u}{A} = \tau_u = 1,5 \frac{\tau_0}{b} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{1,5\tau_0}} + \sigma_0 \tan(\varphi - \psi)$$

Tale equazione esprime quello che si può chiamare criterio unificato di Turnsek Cacovic Coulomb (TCC) per l'interpretazione della rottura a taglio in prove di taglio compressione su pannelli murari.

Il coefficiente di forma b dipende dalla snellezza del pannello e varia fra 1 ed 1,5.

Con σ_0 si indica la tensione normale media riferita all'area totale della sezione.

A è l'area della sezione in proiezione orizzontale.

τ_0 è la resistenza tangenziale media della muratura.

τ_u è la resistenza tangenziale ultima della muratura che tiene conto di tutti i contributi resistenti.

φ è l'angolo di attrito della muratura.

ψ è l'angolo di possibile scorrimento della muratura rispetto all'orizzontale, pari a zero per murature dotate di filari orizzontali. Esso tiene conto del fatto che per le murature in pietrame lo scorrimento non avviene in orizzontale ma possiede anche una componente verso il basso che tende ad attenuare l'effetto dell'attrito.

L'angolo di attrito φ è da intendersi come l'angolo di attrito alla Coulomb cioè l'inclinazione che deve assumere una forza rispetto alla verticale per causare lo scorrimento di una porzione del pannello murario rispetto all'altra porzione di pannello inerte nell'ipotesi che il piano di scorrimento sia perfettamente orizzontale.

I valori di letteratura che potranno essere adottati per il coefficiente d'attrito della muratura f (tangente dell'angolo d'attrito) in assenza di indagini più specifiche ed approfondite si attestano fra $f = 0,3$ ed $f = 0,8$. Inoltre, per le murature in laterizio di nuova costruzione (e, per esteso, per quelle esistenti di buona qualità) solitamente si adotta $f = 0,4$.

L'angolo di scorrimento ψ tiene conto dell'inclinazione del piano di scorrimento che si forma lungo la superficie di lesionamento. Tale angolo è nullo quando il piano di scorrimento è orizzontale, dunque, ad esempio, per il caso delle murature in mattoni o in blocchi con filari orizzontali e senza irregolarità nella tessitura.

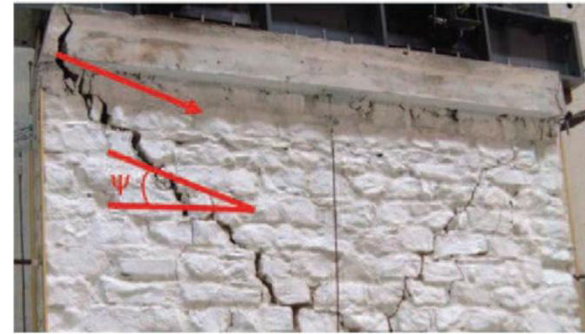


Figura 9. Nella prova eseguita in (Magenes e altri, 2009) si forma una lesione in cui i tratti obliqui prevalgono sui tratti di appoggio piano fra le pietre. I pochi punti di appoggio piano si frantumano (si vedano le pietre spaccate) e lo scorrimento globale risulta inclinato dell'angolo di scorrimento ψ che si sottrae all'angolo proprio di attrito del materiale.

Nel caso delle murature in pietrame i modelli geometrici si complicano notevolmente perché a seconda della tessitura muraria, delle dimensioni e della forma delle pietre, della presenza di diatoni o semidiatoni, intervengono due fattori, uno che tende a diminuire la resistenza nel piano del pannello e l'altro che, al contrario, tende ad aumentarla:

a. l'inclinazione globale della superficie di scorrimento che, se valutata sull'intera estensione del pannello, può presentarsi inclinata di un angolo tale da favorire lo scorrimento sotto l'azione dei carichi verticali. In termini energetici si può dire che compie lavoro anche la risultante delle tensioni verticali sulla superficie di scorrimento perché lo scorrimento ha una componente verso il basso (figure 9 e 10).

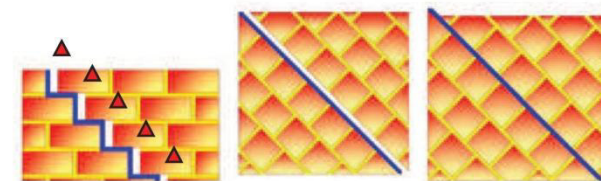


Figura 10. Casi teorici di scorrimento piano ed inclinato. A sinistra: scorrimento orizzontale in una muratura di blocchi dove il peso del semipannello superiore è sostenuto dalle superfici orizzontali che costituiscono appoggi su cui si esplica l'attrito alla Coulomb. Al centro: lo scorrimento orizzontale è impossibile in una muratura priva di filari orizzontali; il semipannello superiore non è sostenuto da alcun appoggio orizzontale e nel corso della sollecitazione orizzontale si adagia sul semipannello inferiore scorrendo su una superficie di appoggio inclinata (a destra).

b. l'ingranamento fra le pietre, che quasi sempre produce all'interno del paramento murario situazioni locali che richiedono il sollevamento,

la rotazione o, addirittura, la rottura di alcune singole pietre ingranate con quelle che sono loro vicine e tali spostamenti sono contrastati dalle tensioni indotte dal carico verticale. Tali configurazioni richiedono un incremento di energia per il progredire dei fenomeni fessurativi e pertanto aumentano la capacità resistente del pannello murario (figura 9, 11 e 12).

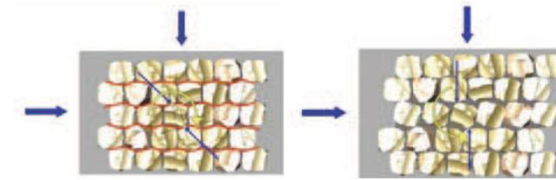


Figura 11. Innesco del meccanismo resistente in una muratura di blocchi irregolari ingranati per effetto della combinazione delle azioni orizzontali e verticali. La rotazione di una pietra interna produce un sollevamento che è contrastato dai carichi verticali. Sotto tali condizioni, in assenza di carico verticale (per esempio nelle prove di compressione diagonale) si osserva talvolta il sollevamento della sommità del pannello per un fenomeno analogo a quello della dilatanza dei terreni granulari.

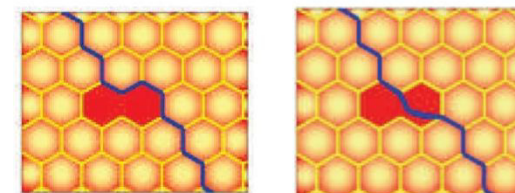


Figura 12. Muratura ingranata con un "disturbo" nella tessitura. In murature reali dove non sono possibili percorsi alternativi per la lesione è necessario portare a rottura la pietra di disturbo. Tale procedimento richiede energia ed aumenta la resistenza a taglio del pannello

4 VALUTAZIONE DELL'ANGOLO DI SCORRIMENTO PER MURATURE DI PIETrame

Per valutare l'angolo di scorrimento ψ delle murature in pietrame si può fare riferimento ad un modello concettuale in cui si considera un pannello murario quadrato di lato b .

Nel caso in cui la lesione che si forma al termine della prova TC è rettilinea lungo la diagonale (caso ideale) la lunghezza della stessa lesione è pari alla lunghezza della diagonale del pannello $L = \sqrt{2} b$ e questa corrisponde ad una superficie di scorrimento piana inclinata di 45° .

In genere però il percorso della lesione che porta a rottura il pannello (figura 13) è caratterizzato da un andamento tortuoso e la

lunghezza della lesione sarà maggiore di $L = \sqrt{2} b$ (diagonale del pannello).

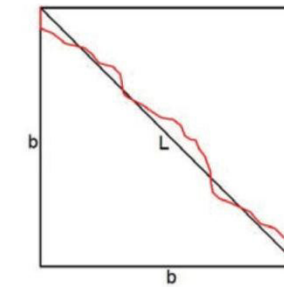


Figura 13. Andamento reale della lesione rispetto alla diagonale.

Con riferimento alla figura 14, sia L' la lunghezza necessaria ad unire i due spigoli opposti del pannello quadrato utilizzando solamente tre segmenti rettilinei, due sovrapposti ai lati verticali del pannello ed il rimanente centrale e la cui lunghezza è funzione del suo angolo di inclinazione rispetto all'asse orizzontale.

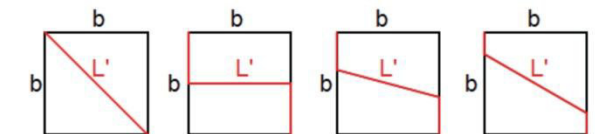


Figura 14. Possibili configurazioni della linea di lesionamento L' nel modello ideale di pannello quadrato: lesione inclinata di 45° con L' coincidente con la diagonale del pannello; lesione orizzontale ed $L' = 2b$; lesioni oblique.

Interessa determinare la legge che correla la lunghezza L' e l'angolo del tratto inclinato di L' in quanto si ritiene che in prima approssimazione sia possibile istituire una analogia fra L' e la lunghezza della lesione osservata sul pannello murario al termine della prova TC e fra l'angolo sull'orizzontale del tratto inclinato di L' e l'angolo di scorrimento della muratura ψ .

Il valore minimo di L' è con ogni evidenza pari a $L = \sqrt{2} b$ (coincidente quindi con la diagonale, in corrispondenza di un'inclinazione di 45°) mentre la massima lunghezza che L' può raggiungere è pari a $2b$ e corrisponde ad una lesione orizzontale.

Normalizzando rispetto alla base del pannello quadrato b si ottiene il grafico in figura 15.

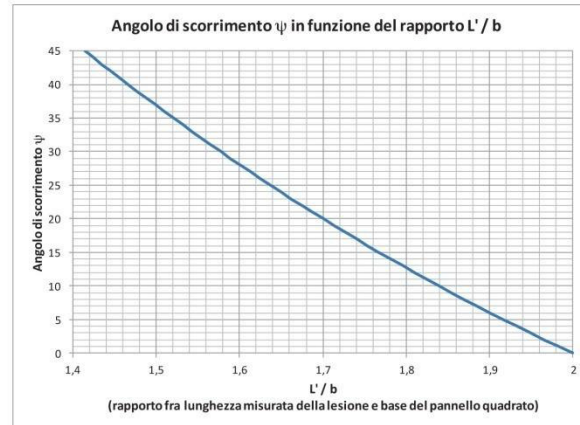


Figura 15. Correlazione fra lunghezza misurata della lesione in rapporto alla base del pannello ed angolo di scorrimento valutato sulla base del modello ideale.

5 APPLICAZIONE A CASI REALI

L'applicazione del modello esposto ai casi di murature reali presenta alcune (ovvie) difficoltà e, naturalmente, ha bisogno di conferme sperimentali e di valutazioni numeriche, anche al fine di determinare il campo di applicabilità e le condizioni di validità dello stesso modello.

Attualmente è in corso una campagna di prove CD e TC sulla stessa parete con lo specifico obiettivo di confermare quanto sinora esposto.

Nel caso specifico dell'interpretazione delle prove di taglio compressione su murature in mattoni e malta, dove data la bassa snellezza dei pannelli provati quasi sempre è possibile escludere il collasso per pressoflessione, il criterio unificato consente di stimare valori di τ_0 in buon accordo con i valori di τ_0 trovati con le prove di compressione diagonale sulle stesse murature. Infatti è possibile fornire l'interpretazione delle prove di taglio compressione illustrate all'inizio di questo paragrafo (in tabella 2) utilizzando il criterio di rottura unificato ora introdotto.

Come si può vedere in tabella 3, il criterio unificato di interpretazione delle prove di taglio compressione per il caso delle murature in mattoni e malta consente in due casi su tre disponibili di ritrovare gli stessi risultati ottenuti dalle prove diagonali se si considera un angolo di attrito di 22° (pari al coefficiente d'attrito $f = 0,4$ suggerito nelle NTC 2008).

In un solo caso è necessario ipotizzare un angolo d'attrito inferiore (15° pari al coefficiente

d'attrito $f = 0,27$) ma, consultando l'articolo che relaziona su tale prova di laboratorio, gli stessi autori delle prove precisano che quelle sperimentazioni (e solo quelle fra le oltre venti illustrate dall'articolo) furono condotte con malta di calce aerea e sabbia limosa, in un caso addirittura stagionata per un tempo non sufficiente. Ciò consente certamente di ipotizzare un attrito sensibilmente ridotto per quella prova sperimentale.

Per i casi relativi alle murature in pietrame si è proceduto alla valutazione dell'angolo di scorrimento con il metodo illustrato al paragrafo precedente (figura 16).

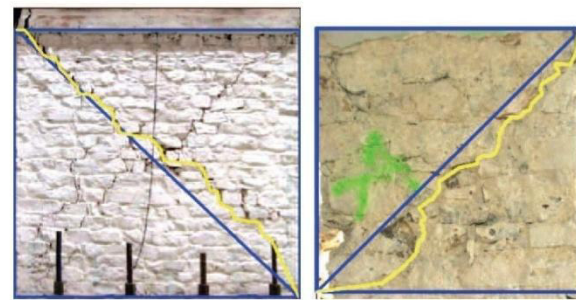


Figura 16. Valutazione della lunghezza delle lesioni al termine di prove TC.

Per l'angolo d'attrito è difficile una stima a priori e necessiterebbero prove ad hoc. Per compiere le valutazioni riportate in tabella 3 si sono ipotizzati valori dell'angolo d'attrito in linea con i principali testi disponibili in letteratura scientifica e che consentono di trovare il risultato desiderato (uguaglianza di τ_{0CD} e τ_{0TC}).

Se pure ad una riprova sperimentale dovessero risultare valori d'attrito diversi da quelli ipotizzati, tuttavia appare evidente come l'interpretazione mediante il criterio di resistenza unificato consentirebbe quantomeno di avvicinare i risultati forniti dalle prove di compressione diagonale e dalle prove di taglio compressione sulle stesse tipologie murarie.

6 RINGRAZIAMENTI

Il presente lavoro è stato condotto nell'ambito del Progetto ReLUIS 2010-2013, Linea 1.1.1 - Edifici in muratura: sperimentazione e valutazione dell'efficacia degli interventi.

Tabella 3. Interpretazione delle prove di taglio compressione illustrate all'inizio di questo paragrafo utilizzando il criterio di rottura unificato. Come si può notare tale criterio consente di annullare la differenza di risultato fra prova TC e CD per le murature in laterizio e consente comunque di ridurre tale differenza per le murature in pietrame.

Id	Prova	Tipologia muraria	Tensione verticale σ_0 (MPa)	Angolo d'attrito φ (gradi)	Angolo di scorrimento ψ (gradi)	τ_{0TC} criterio Turnsek-Cacovic (MPa)	τ_{0TC} criterio unificato (MPa)	τ_{0CD} (MPa)
1	Borri, Corradi, Vignoli, Sellano. 1999-2000	Pietrame e malta di cattiva qualità	0.31 e 0.12	35	24 ⁺⁺	0.077 ⁺	0.031	0.031 ⁺
2	Borri, Colle Umberto (PG). 2011	Pietrame. Muratura del 1900	0.106	32	21	0.031	0.019	0.0188
3	Borri, San Felice sul Panaro. 2012	Mattoni pieni e malta di fango	0.191	22	0	0.057	0.018	0.019
4	Borri, Corradi, Laboratorio. 2012	Mattoni pieni e malta di calce	0.325	22	0	0.086	0.023	0.026
5	Vignoli, Laboratorio. 2001	Mattoni pieni e malta di calce aerea e sabbia limosa	0.263	15 [*]	0	0.063	0.029	0.029
6	Magenes, Galasco, Penna, Laboratorio. ReLUIS 2005-2008	Pietrame	0.2 e 0.5	30	29 e 32	0.08 ⁺	0.08 ⁺	0.091 ^{**}

^{*} utilizzata malta di calce aerea e sabbia limosa, dunque di pessima qualità
^{**} rispetto al lavoro citato: ottenuto dividendo la resistenza media a trazione per 1,5 (l'output era in termini di resistenza media a trazione f_t)
⁺ rispetto al lavoro citato: media delle due prove CT01 CT02 per coefficiente di forma $b = 1$
⁺⁺ angolo di scorrimento ipotizzato in assenza di fotografie post lesionamento

REFERENCES

Blondet M., Villa Garcia M., "Adobe Construction", Catholic University of Peru, Peru (sito EERI)
 Borri A., Paci G., De Maria A., (2011). "Resistenza a taglio delle murature: prove diagonali e correlazione con l'Indice di Qualità Muraria IQM", Atti del XIV Convegno Nazionale su l'Ingegneria Sismica in Italia (ANIDIS), 18-22 Settembre 2011, Bari.
 Borri A. (direttore scientifico), Donà C., De Maria A. (curatori), (2011). "Manuale delle Murature Storiche", voll. I e II, Ed. Dei, Roma.
 Borri A., Cangi G., De Maria A., "Sulla resistenza a taglio delle murature storiche. Esperienze e riflessioni", L'Edilizia, 2012.

Giuffrè A., "Lecture sulla meccanica delle murature storiche" Ed. Kappa, Roma, 1991
 Gattesco N., Dudine A., "Il rinforzo di murature esistenti con intonaco e rete in GFRP", su: "Structural", Ed. De Lettera, n. 164, 2010.
 Cangi G., "Sisma in Emilia: un fenomeno anomalo e imprevisto" in PONTE (Mensile di Progettazione, Gestione e Tecnica per Costruire), Edizioni DEI, Roma - n.6/7 giugno/luglio 2012.
 Galasco A., Penna A., Magenes G., "Caratterizzazione meccanica di muratura in pietra. Parte seconda. Prove cicliche di taglio compressione su pannelli di grandi dimensioni". Progetto ReLUIS 2005-2009, 2009.
 Violini L., "Caratterizzazione delle murature interessate dal sisma emiliano e interpretazione delle prove sperimentali". Tesi di laurea in Ingegneria Civile, Università degli Studi di Perugia, relatore Prof. A. Borri, 2013

Allegato B

ESEMPI DI SCHEDE PER LA VALUTAZIONE DELL'IQM

(A. Borri, A. De Maria)

1. Esempi e schede descrittive per alcuni casi di murature

Vengono qui riportate, a titolo esemplificativo, le schede relative ad alcune tipologie murarie. Il giudizio sulla qualità muraria è ovviamente influenzato da fattori che si differenziano a seconda degli specifici casi. La scheda assume, pertanto, il significato di un esempio che può essere utilizzato direttamente solo nei casi in cui le caratteristiche della muratura in esame siano effettivamente analoghe a quelle riportate.

Ogni scheda è riportata in un formato A4. Essa riporta nella sua parte più alta la numerazione identificativa della muratura in esame e le sue fotografie (solitamente una foto d'insieme per cogliere la tessitura degli elementi ed una foto di dettaglio o della sezione muraria se disponibile, per cogliere i particolari). Nella riga successiva della scheda sono riportati, quando possibile, i disegni schematici della muratura in esame, sia assometrie che prospetti e sezioni murarie. Segue una parte descrittiva che elenca le principali caratteristiche costruttive delle tipologie murarie e le proprietà e dimensioni degli elementi lapidei e della malta. Nell'ultima parte della scheda sono riportati i sette parametri descrittivi della regola dell'arte. Si ricorda che essi sono:

- P.D.** = Presenza dei Diatoni / ingranamento trasversale
- MA.** = qualità della MALta / efficace contatto fra elementi / zeppe
- F.EL.** = Forma degli ELEMENTI resistenti
- S.G.** = Sfalsamento dei Giunti verticali / ingranamento nel piano
- R.EL.** = Resistenza degli ELEMENTI
- OR.** = ORizzontalità dei filari
- D.EL.** = Dimensione degli ELEMENTI resistenti




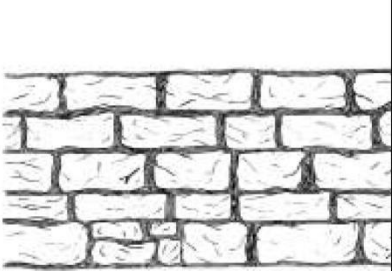
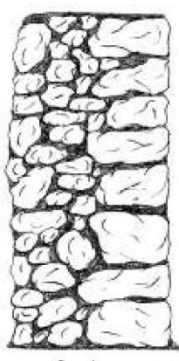
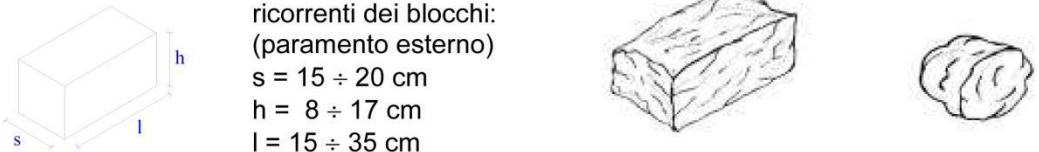
Per ogni parametro è riportato il "rispetto" (**R**), il "parziale rispetto" (**PR**) oppure il "non rispetto" (**NR**) della regola dell'arte.

Si evidenziano infine i risultati ottenuti per l'analisi di ogni muratura sia in termini di IQM sia con riguardo alla categoria di appartenenza della muratura. La categoria di appartenenza può essere **A**, **B** o **C**. Ciò è stato fatto per i tre tipi di azione previsti: azioni verticali, orizzontali fuori piano ed orizzontali nel piano.

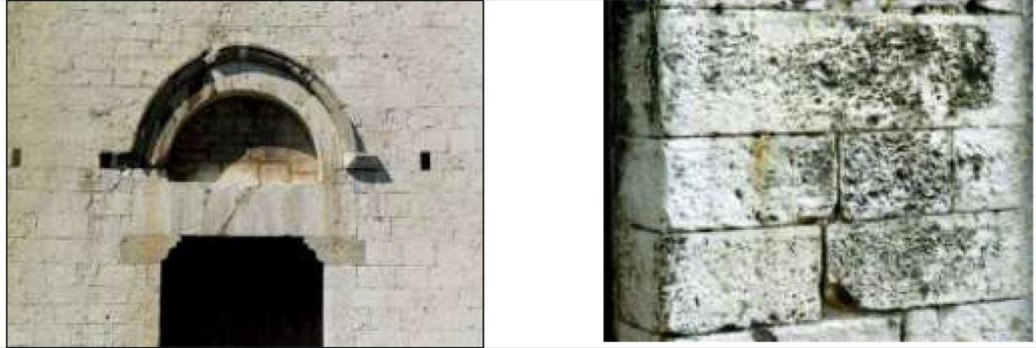
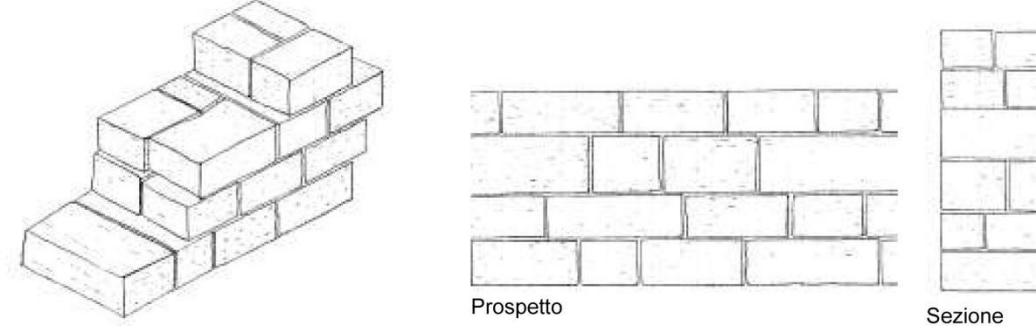
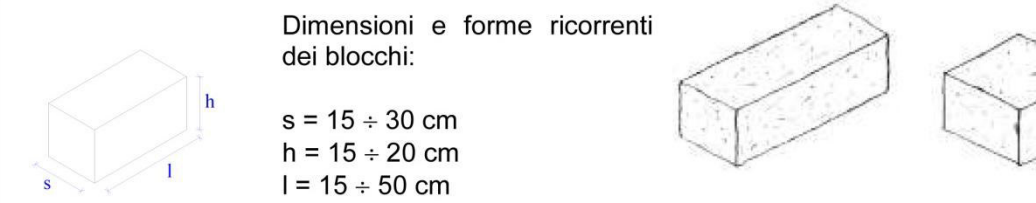
Per una visualizzazione più immediata sono stati adottati dei colori che contraddistinguono i risultati ottenuti:
 in verde se la qualità muraria è alta (categoria A);
 in giallo se la qualità muraria è media (categoria B);
 in rosso se la qualità muraria è scarsa (categoria C).


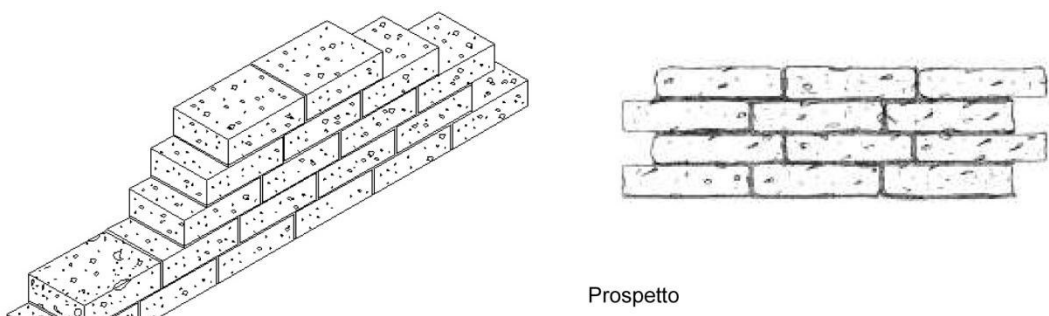
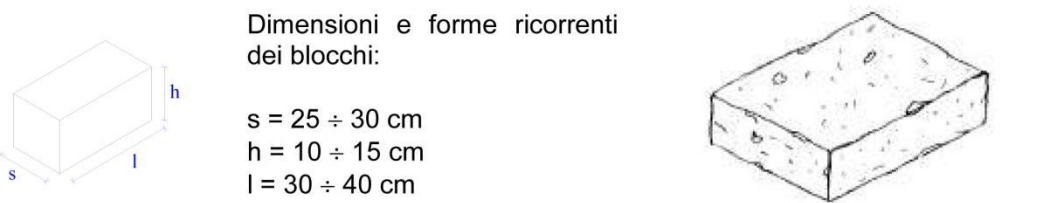
Si riportano, infine, i campi di variazione MIN-MAX dei valori di E (valore medio del modulo elastico normale), τ_0 (resistenza media a taglio della muratura) ed f_m (resistenza media a compressione della muratura) previsti dalla correlazione esponenziale proposta dagli Autori.


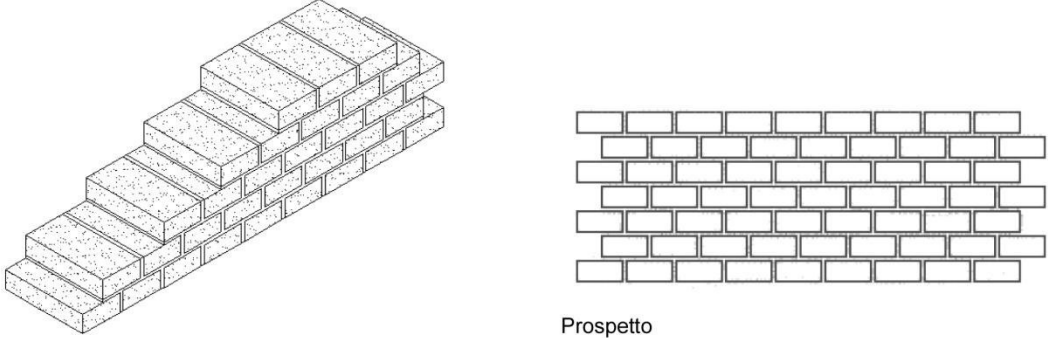
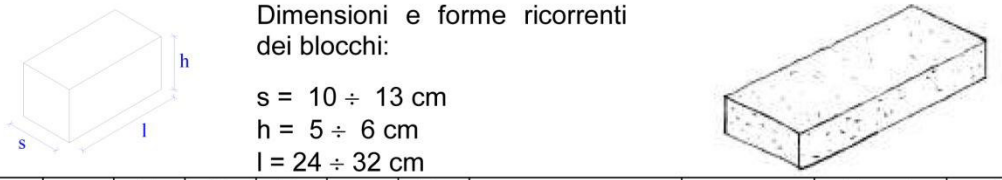
SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA							AQ1				
											FOTO
Assonometria							Prospetto		Sezione		
<p><i>Muratura di pietrame con malta di calce e sabbia mista a scaglie di pietra.</i> Il paramento esterno è costituito da pietre poste con la dimensione maggiore secondo la profondità. Le pietre di riempimento di dimensione minore appaiono piuttosto incoerenti e slegate. Scaglie di pietra contribuiscono a regolarizzare il piano d'appoggio e a creare bancate orizzontali ad interassi variabili da 60 cm ad 1 metro. Il paramento interno si differenzia da quello esterno solo per una minore cura nella scelta degli elementi e nella regolarità dei filari. Per elevati spessori dei muri si possono formare superfici di distacco lungo piani verticali interni al setto per la presenza di un nucleo irregolare formato da piccoli ciottoli e materiale minuto o, addirittura di due paramenti accostati e non connessi trasversalmente.</p>							DESCRIZIONE				
<p>Pietrame calcareo. Malta di calce e sabbia spesso polverulenta ed erosa per i primi 5-10 cm del paramento esterno. Per muri di elevato spessore vi può essere riempimento incoerente.</p>							MATER.				
 Dimensioni e forme ricorrenti dei blocchi: $s = 15 \div 25$ cm $h = 8 \div 15$ cm $l = 15 \div 30$ cm							GEOMETRIA				
P.D.	MA.	F.EL.	S.G.	R.EL.	OR.	D.EL.	Categoria	Verticali	Fuori piano	Nel piano	ANALISI IQM
NR	NR	NR	NR	R	PR	PR	Metodo punteggi	C	C	C	
<p>N.B. Ingranamento assente pur con LMT di circa 150 in quanto le pietre sono arrotondate.</p>							LMT (sezione)		145	117	
							IQM	1,5	1,5	1	
Parametri meccanici: valori MIN-MAX							f_m (N/cm ²)	E (N/mm ²)	τ_0 (N/cm ²)		
							131-227	712-1049	2,3-3,7		


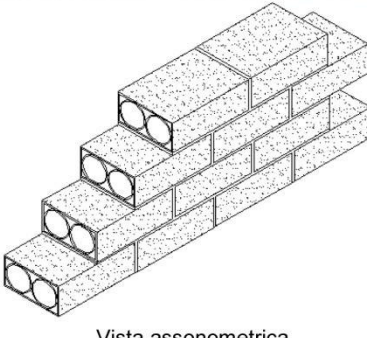
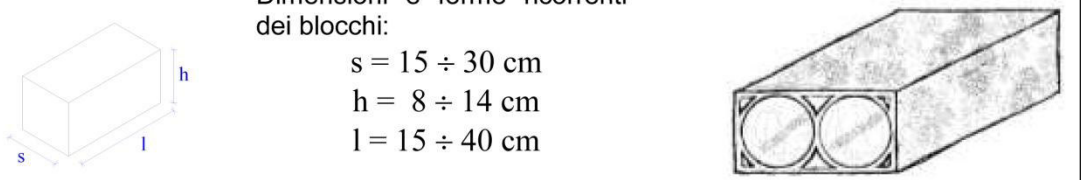
SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA							AQ2										
														FOTO			
											SCHEMI						
<p>Assonometria</p> <p>Prospetto</p> <p>Sezione</p>							<p>Muratura di blocchi di pietra squadrata e ciottoli a doppio paramento.</p> <p>Muratura di tessitura fortemente disomogenea: costituita da paramento esterno di blocchi di pietra squadrata con buona tessitura muraria, rispetto dei filari orizzontali e sfalsamento dei giunti verticali. Il paramento interno è di ciottoli e scaglie di pietra disposte in maniera casuale con interposti detriti di piccole dimensioni. Spessore murario di notevoli dimensioni $\cong 70\div 80$ cm. Spesso rinvenuta in chiese e campanili.</p>							DESCRIZ.			
Paramento esterno in pietra calcarea compatta. Malta di calce e sabbia polverulenta.							MAT.										
<p>Dimensioni e forme ricorrenti dei blocchi: (paramento esterno)</p> <p>s = 15 ÷ 20 cm</p> <p>h = 8 ÷ 17 cm</p> <p>l = 15 ÷ 35 cm</p>														GEOMETRIA			
P.D.	MA.	F. EL.	S. G.	R. EL.	OR.	D. EL.	Categoria	Verticali	Fuori piano	Nel piano	ANALISI IQM						
NR	NR	NR	PR	R	PR	PR	Metodo punteggi	C	C	C							
<p>N.B. Sul paramento interno ciottoli di dimensione minima.</p> <p>La LMT nel piano è PR sul paramento esterno ed NR sul paramento interno di ciottoli, pertanto il giudizio sul parametro SG relativo allo sfalsamento dei giunti verticali è NR.</p>							LMT (sezione)		~115	150 e < 140	ANALISI IQM						
							IQM	1,5	1,5	1							
							Parametri meccanici: valori MIN-MAX	f_m (N/cm ²)	E (N/mm ²)	τ_0 (N/cm ²)							
								131-227	712-1049	2,3-3,7							


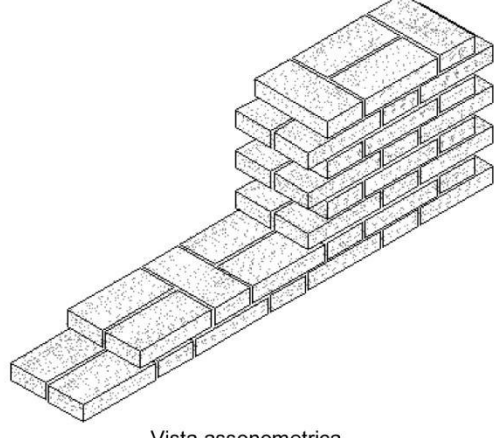
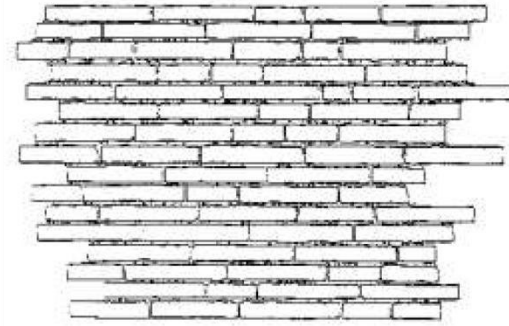
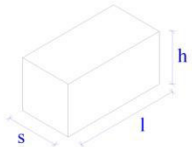
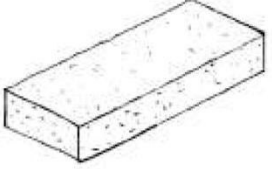
SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA							AQ3										
														FOTO			
							SCHEMI										
<p>Prospetto</p> <p>Sezione</p>							<p>Muratura di pietra di dimensioni minute, mista a ciottoli naturali o spaccati e pietrame.</p> <p>Muratura caotica realizzata con pietre di vario tipo, laterizi, scaglie irregolari, inserti in legno con funzione di incatenamento. Le pietre di dimensione minore sono frequenti all'interno della sezione mentre sui lati esterni si cerca di inserire le pietre più grandi. Gli elementi presentano forme molto irregolari (scaglie di pietra) e dimensioni medio-piccole. La tessitura muraria è caotica, non sono rispettati i filari orizzontali, né lo sfalsamento dei giunti verticali; assenti i diatoni.</p>							DESCRIZ.			
Pietre calcaree naturali e spaccati; pietre compatte e fratturate di colori vari. Laterizi (mattoni) di argilla cotta, interi, spaccati e scaglie. Malta di calce, talvolta si trova malta di argilla, ambedue di scadente qualità e spesso fortemente erose nel tratto più esterno della sezione muraria							MATERIALI										
<p>Dimensioni e forme ricorrenti dei blocchi:</p> <p>s = 8 ÷ 12 cm</p> <p>h = 10 ÷ 15 cm</p> <p>l = 15 ÷ 20 cm</p>														GEOMETRIA			
P.D.	MA.	F. EL.	S. G.	R. EL.	OR.	D. EL.	Categoria	Verticali	Fuori piano	Nel piano	ANALISI IQM						
NR	NR	NR	NR	R	NR	NR	Metodo punteggi	C	C	C							
							LMT (sezione)		110	110	ANALISI IQM						
							IQM	0	0	0							
							Parametri meccanici: valori MIN-MAX	f_m (N/cm ²)	E (N/mm ²)	τ_0 (N/cm ²)							
								94-169	548-821	1,9 - 3							

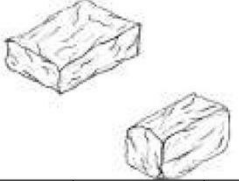
SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA								NUM. 01					
								FOTO					
 <p>Vista assonometrica</p> <p>Prospetto</p> <p>Sezione</p>								SCHEMI					
<p>MURATURA DI BLOCCHI DI PIETRA PERFETTAMENTE SQUADRATA. I paramenti sono costituiti da conci lavorati di pietra calcarea bianca o rosa e talvolta arenaria. La tessitura muraria regolare presenta corsi orizzontali di altezze diverse ed un buon sfalsamento dei giunti verticali. Vi è presenza di elementi disposti ortogonalmente al piano della muratura (diatoni).</p>								DESCRIZIONE					
<p>Calcare bianco e rosato di Gubbio: compatto a frattura concoide. Calcari compatti di Perugia: biancastri o rossastri dal bianco al grigio nero, al roseo al rosso. Calcari del Subasio (Assisi): calcari bianchi e rossi, duri e compatti. Macigno di Scheggia e Gubbio: grigio, simile alla pietra serena toscana. Pietra serena del Trasimeno e dell'altotevere: colore grigiastro, con talvolta infiltrazioni giallo marronastre. Malta di calce e sabbia spesso polverulenta ma sufficiente ad assicurare un contatto uniforme tra i blocchi.</p>								MATERIALI					
<p>Dimensioni e forme ricorrenti dei blocchi:</p>  <p>$s = 15 \div 30$ cm $h = 15 \div 20$ cm $l = 15 \div 50$ cm</p>								GEOMETRIA					
P.D.	MA.	F. EL.	S. G.	R. EL.	OR.	D. EL.	Categoria	Verticali	Fuori piano	Nel piano	ANALISI IQM		
R	PR	R	R	R	R	R	Metodo Punteggi	A	A	A			
LMT									160	166			
IQM								8,5	9,5	9			
Parametri meccanici: valori MIN-MAX								f_m (N/cm ²) 625-915	E (N/mm ²) 2402-3294	τ_0 (N/cm ²) 13,3-18,2			




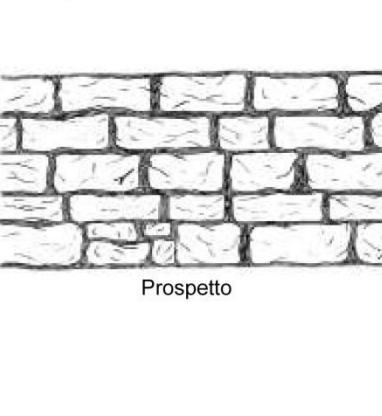

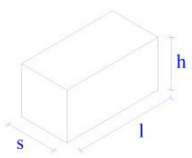

SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA								NUM. 02					
								FOTO					
 <p>Vista assonometrica</p> <p>Prospetto</p>								SCHEMI					
<p>MURATURA DI BLOCCHI DI TUFO DISPOSTI AD UNA TESTA. Muratura realizzata con blocchi di tufo perfettamente squadrati, tessitura muraria che rispetta l'orizzontalità dei filari, ma presenta un parziale sfalsamento dei giunti verticali. Tipologia costruttiva abbastanza recente.</p>								DESCRIZ.					
<p>Tufo calcareo: di consistenza variabile, grigio gialliccio e giallo fulvo. Malta di tipo cementizio di buone qualità meccaniche.</p>								MATER.					
<p>Dimensioni e forme ricorrenti dei blocchi:</p>  <p>$s = 25 \div 30$ cm $h = 10 \div 15$ cm $l = 30 \div 40$ cm</p>								GEOMETRIA					
P.D.	MA.	F. EL.	S. G.	R. EL.	OR.	D. EL.	Categoria	Verticali	Fuori piano	Nel piano	ANALISI IQM		
R	R	R	PR	PR	R	R	Metodo Punteggi	A	B	A			
LMT (sezione)									>155	172			
IQM								6,65	6,65	6,3			
Parametri meccanici: valori MIN-MAX								f_m (N/cm ²) 413-633	E (N/mm ²) 1742-2434	τ_0 (N/cm ²) 7,4-10,6			

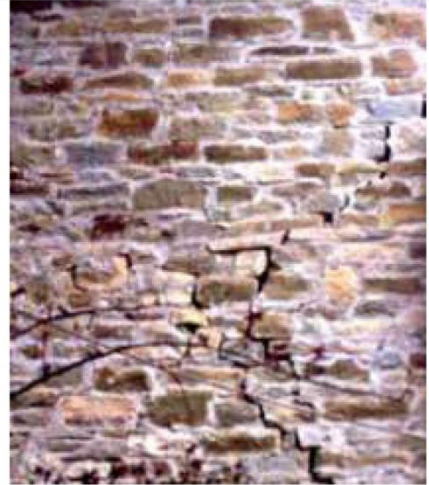
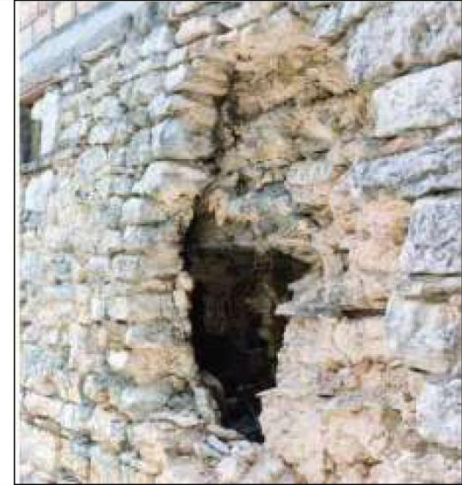
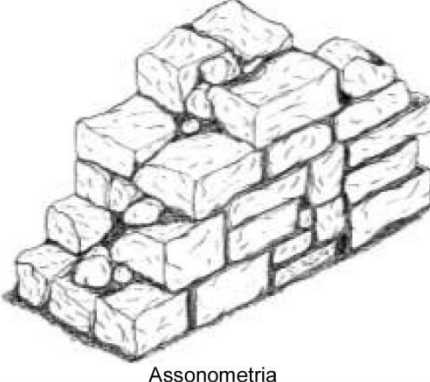
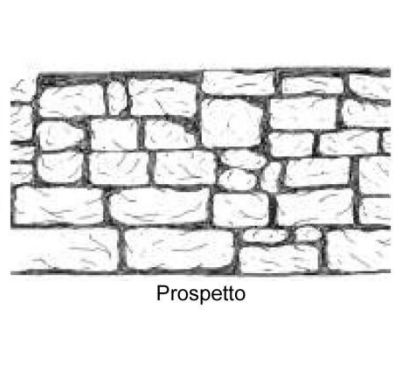
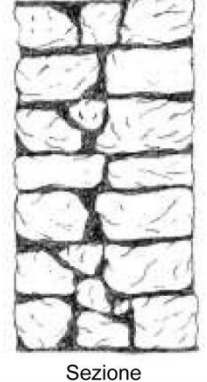
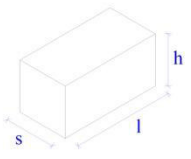

SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA							NUM. 03				
							FOTO				
 <p>Vista assonometrica</p> <p>Prospetto</p>							SCHEMI				
<p><i>Muratura di mattoni a 2 teste con elementi disposti ortogonalmente al piano della muratura.</i> Muratura realizzata con mattoni perfettamente squadrati disposti tutti con la dimensione maggiore ortogonalmente al piano della muratura stessa, tessitura muraria che rispetta l'orizzontalità dei filari, ma presenta un parziale sfalsamento dei giunti verticali. Tipologia costruttiva recente.</p>							DESCRIZIONE				
<p>Laterizi mattoni di argilla cotta, di forma regolare. Realizzata generalmente con malta cementizia di buona qualità. I giunti di malta però sono troppo grossi rispetto ai mattoni a causa della tessitura di soli diatoni.</p>							MATERIALI				
 <p>Dimensioni e forme ricorrenti dei blocchi: $s = 10 \div 13 \text{ cm}$ $h = 5 \div 6 \text{ cm}$ $l = 24 \div 32 \text{ cm}$</p>							GEOMETRIA				
P.D.	MA.	F. EL.	S. G.	R. EL.	OR.	D. EL.	Categoria	Verticali	Fuori piano	Nel piano	ANALISI IQM
R	NR	R	NR	R	R	NR	Metodo punteggi	A	A	B	
<p>N.B. giunti di malta di dimensioni eccessive; parete di soli diatoni.</p>							LMT (sezione)		> 155	185	
							IQM	6	7	5	
							Parametri meccanici: valori MIN-MAX	f_m (N/cmq) 358-556	E (N/mmq) 1556-2189	τ_0 (N/cmq) 5,6-8,2	



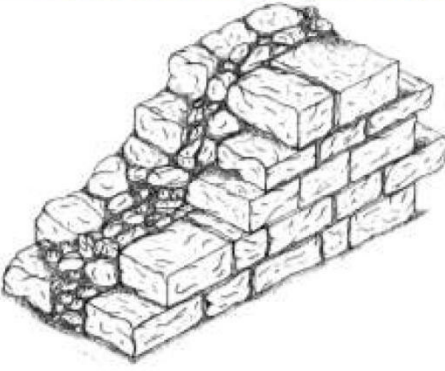
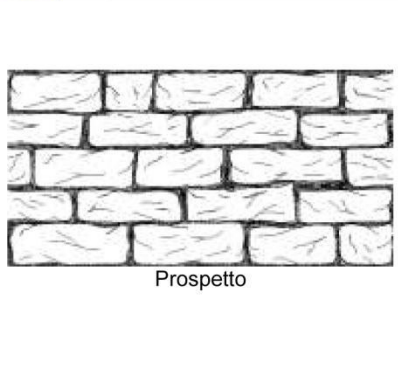
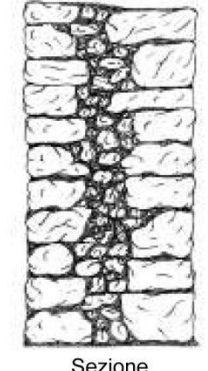
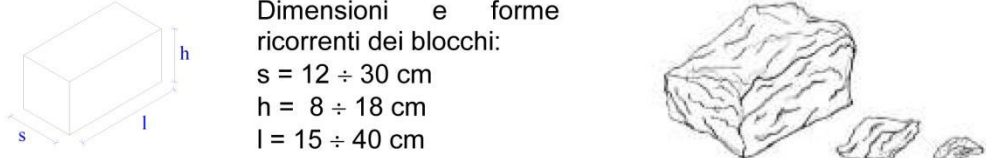
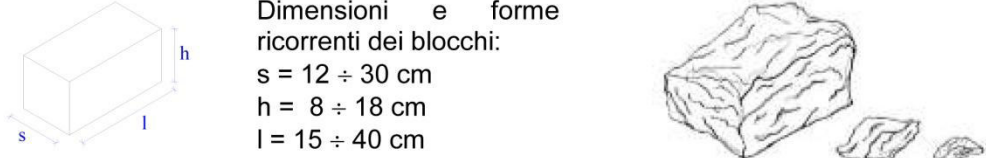
SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA							NUM. 04				
							FOTO				
 <p>Vista assonometrica</p>							SCHEMI				
<p><i>Muratura di blocchi di laterizi (occhialoni e forati in genere).</i> Muratura realizzata con laterizi forati soprannominati "occhialoni", tessitura muraria regolare con filari orizzontali e sfalsamento dei giunti verticali. Questi elementi non presentano particolari caratteristiche strutturali ma vengono ugualmente utilizzati per realizzare murature portanti. Tipologia costruttiva recente.</p>							DESCRIZIONE				
<p>Laterizi forati in genere ed in particolare gli "occhialoni"; elementi costruttivi non strutturali. Realizzata generalmente con malta cementizia di buona qualità.</p>							MATER.				
 <p>Dimensioni e forme ricorrenti dei blocchi: $s = 15 \div 30 \text{ cm}$ $h = 8 \div 14 \text{ cm}$ $l = 15 \div 40 \text{ cm}$</p>							GEOMETRIA				
P.D.	MA.	F. EL.	S. G.	R. EL.	OR.	D. EL.	Categoria	Verticali	Fuori piano	Nel piano	ANALISI IQM
R	R	R	R	NR	R	R	Metodo punteggi	B	B	C	
<p>N.B. elementi non resistenti. Foratura > 70%</p>							LMT (sezione)		>155	>160	
							IQM	3	5	3	
							Parametri meccanici: valori MIN-MAX	f_m (N/cmq) 183-307	E (N/mmq) 924-1341	τ_0 (N/cmq) 3,6-5,5	



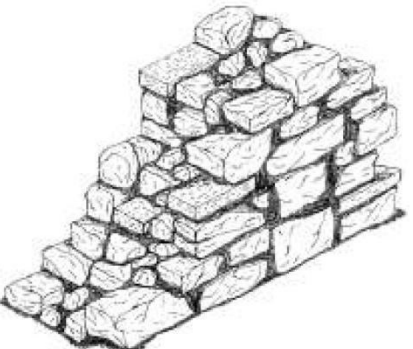
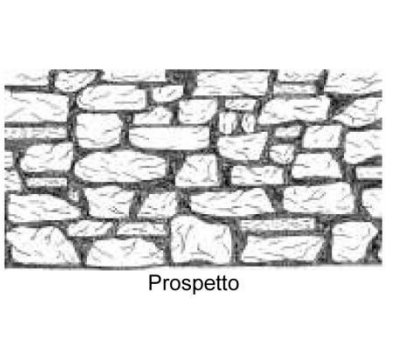
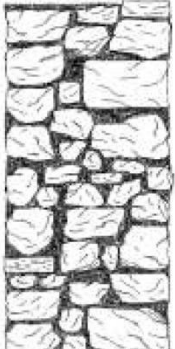
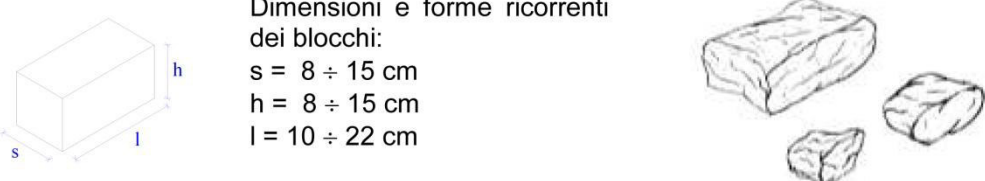
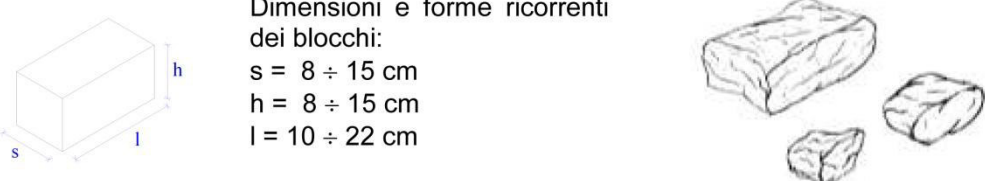
SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA							NUM. 05							
							FOTO							
 <p>Vista assonometrica</p>			 <p>Prospetto</p>				SCHEMI							
<p>Muratura in laterizi (mattoni) a 2 teste con disposizione alternata.</p> <p>Muratura realizzata con mattoni di forma regolare; tessitura muraria con alternanza di "ortostati" e "diatoni" e con sfalsamento dei giunti verticali.</p>							DESCRIZ.							
<p>Laterizi mattoni di argilla cotta, di forma regolare.</p> <p>Malta di calce cementizia con sabbia o polvere di cava; la prima di buona qualità, la seconda scadente.</p>							MATERIALI							
		<p>Dimensioni e forme ricorrenti dei blocchi: $s = 10 \div 13$ cm $h = 5 \div 6$ cm $l = 24 \div 32$ cm</p>					GEOMETRIA							
P.D.	MA.	F. EL.	S. G.	R. EL.	OR.	D. EL.	Categoria	Verticali	Fuori piano	Nel piano	ANALISI IQM			
R	PR	R	R	R	R	PR	Metodo punteggi	A	A	A				
							LMT (sezione)		> 155	187				
							IQM	8	9	8,5				
							Parametri meccanici: valori MIN-MAX	f_m (N/cm ²)	E (N/mm ²)	τ_0 (N/cm ²)				
								559-828	2202-3035	11,9-16,4				


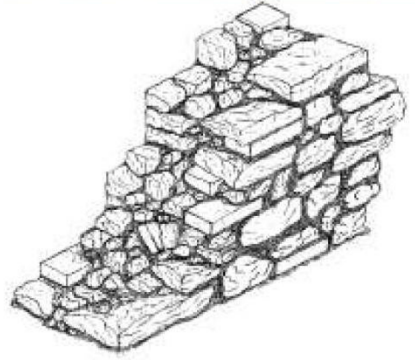
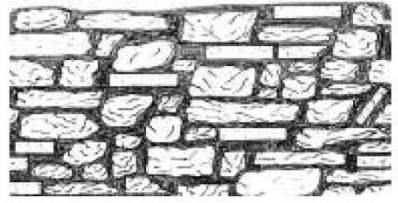

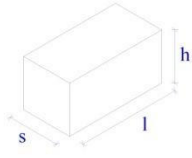
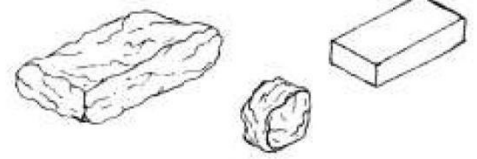
SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA							NUM. 06							
							FOTO							
 <p>Assonometria</p>			 <p>Prospetto</p>		 <p>Sezione</p>				SCHEMI					
<p>Muratura di blocchi di pietra squadrata a doppio paramento.</p> <p>Muratura interna ed esterna realizzata con blocchi di pietra squadrata con buona tessitura muraria, rispetto dei filari orizzontali e sfalsamento dei giunti verticali approssimativo, presenza di diatoni mai completamente passanti e in percentuale ridotta rispetto alla superficie muraria.</p>							DESCRIZ.							
<p>Pietre calcaree di vario tipo: calcare bianco e rosato.</p> <p>Macigno di Scheggia e Gubbio: grigio, simile alla pietra serena toscana, risulta poco compatta.</p> <p>Pietra serena del Trasimeno: colore grigiastro con infiltrazioni marronastre.</p> <p>Malta di calce e sabbia, scadente. Presenza di zeppe.</p>							MATERIALI							
		<p>Dimensioni e forme ricorrenti dei blocchi: $s = 12 \div 25$ cm $h = 8 \div 18$ cm $l = 15 \div 30$ cm</p>					GEOMETRIA							
P.D.	MA.	F. EL.	S. G.	R. EL.	OR.	D. EL.	Categoria	Verticali	Fuori piano	Nel piano	ANALISI IQM			
PR	PR	R	NR	R	R	PR	Metodo punteggi	A	B	A				
							LMT (sezione)		126	138				
							IQM	7	6,5	5,5				
							Parametri meccanici: valori MIN-MAX	f_m (N/cm ²)	E (N/mm ²)	τ_0 (N/cm ²)				
								447-679	1851-2578	6,2-9,0				

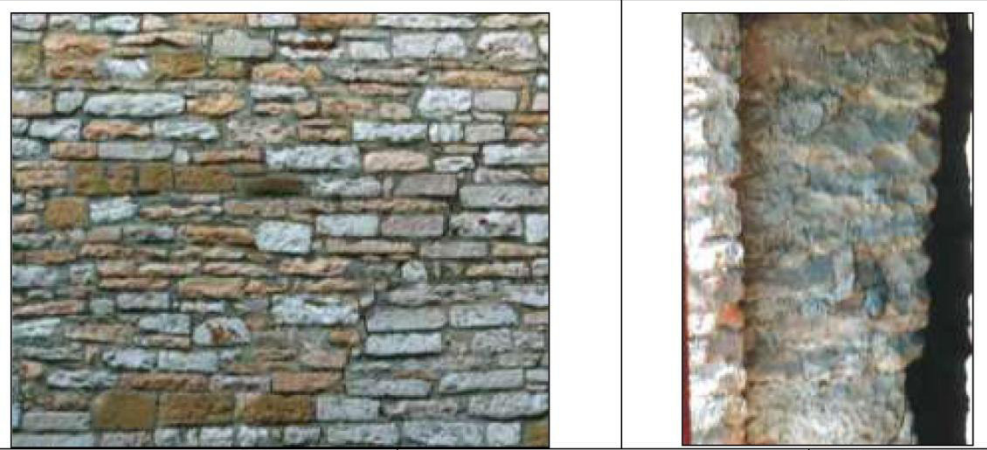
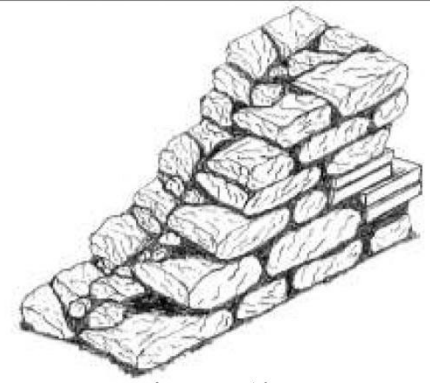
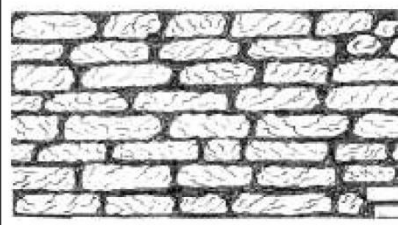
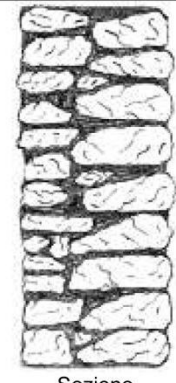
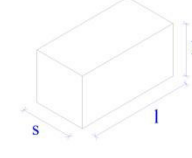
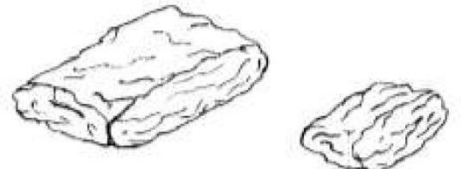
SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA							NUM. 07																															
											FOTO																											
							SCHEMI																															
<p><i>Muratura di blocchi di pietra squadrata e ciottoli a doppio paramento.</i></p> <p>Muratura costituita da paramento esterno di blocchi di pietra squadrata con buona tessitura muraria, rispetto dei filari orizzontali e sfalsamento dei giunti verticali. Paramento interno di ciottoli e scaglie di pietra disposte in maniera casuale con interposti detriti di piccole dimensioni. Spessore murario di notevoli dimensioni $\cong 70\div 80$ cm.</p> <p>Calcare compatto, scaglia rossa dell'Umbria a colore variabile. Malta di calce e sabbia polverulenta</p>																																						
DESCRIZ.																																						
MAT.																																						
GEOMETRIA																																						
 <p>Dimensioni e forme ricorrenti dei blocchi: (paramento esterno)</p> <p>s = 15 ÷ 20 cm h = 8 ÷ 17 cm l = 15 ÷ 35 cm</p>					DESCRIZ.				MATER.																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>P.D.</th> <th>MA.</th> <th>F. EL.</th> <th>S. G.</th> <th>R. EL.</th> <th>OR.</th> <th>D. EL.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NR</td> <td>NR</td> <td>NR</td> <td>PR</td> <td>R</td> <td>PR</td> <td>PR</td> </tr> </tbody> </table>							P.D.	MA.	F. EL.	S. G.	R. EL.	OR.	D. EL.	NR	NR	NR	PR	R	PR	PR	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Categoria</th> <th>Verticali</th> <th>Fuori piano</th> <th>Nel piano</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Metodo punteggi</td> <td style="background-color: red; color: white;">C</td> <td style="background-color: red; color: white;">C</td> <td style="background-color: red; color: white;">C</td> </tr> </tbody> </table>		Categoria	Verticali	Fuori piano	Nel piano	Metodo punteggi	C	C	C	DESCRIZ.				MATER.			
P.D.	MA.	F. EL.	S. G.	R. EL.	OR.	D. EL.																																
NR	NR	NR	PR	R	PR	PR																																
Categoria	Verticali	Fuori piano	Nel piano																																			
Metodo punteggi	C	C	C																																			
<p>N.B. Sul paramento interno ciottoli di dimensione minima. La LMT nel piano è PR sul paramento esterno ed NR sul paramento interno di ciottoli, pertanto il giudizio sul parametro SG relativo allo sfalsamento dei giunti verticali è NR.</p>							<table border="1"> <thead> <tr> <th>LMT (sezione)</th> <th>IQM</th> <th>Parametri meccanici: valori MIN-MAX</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>1,5</td> <td> <table border="1"> <thead> <tr> <th>f_m (N/cm²)</th> <th>E (N/mm²)</th> <th>τ_0 (N/cm²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>131-227</td> <td>712-1049</td> <td>2,3-3,7</td> </tr> </tbody> </table> </td> </tr> </tbody> </table>		LMT (sezione)	IQM	Parametri meccanici: valori MIN-MAX		1,5	<table border="1"> <thead> <tr> <th>f_m (N/cm²)</th> <th>E (N/mm²)</th> <th>τ_0 (N/cm²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>131-227</td> <td>712-1049</td> <td>2,3-3,7</td> </tr> </tbody> </table>	f_m (N/cm ²)	E (N/mm ²)	τ_0 (N/cm ²)	131-227	712-1049	2,3-3,7	DESCRIZ.				MATER.													
LMT (sezione)	IQM	Parametri meccanici: valori MIN-MAX																																				
	1,5	<table border="1"> <thead> <tr> <th>f_m (N/cm²)</th> <th>E (N/mm²)</th> <th>τ_0 (N/cm²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>131-227</td> <td>712-1049</td> <td>2,3-3,7</td> </tr> </tbody> </table>	f_m (N/cm ²)	E (N/mm ²)	τ_0 (N/cm ²)	131-227	712-1049	2,3-3,7																														
f_m (N/cm ²)	E (N/mm ²)	τ_0 (N/cm ²)																																				
131-227	712-1049	2,3-3,7																																				
ANALISI IQM																																						



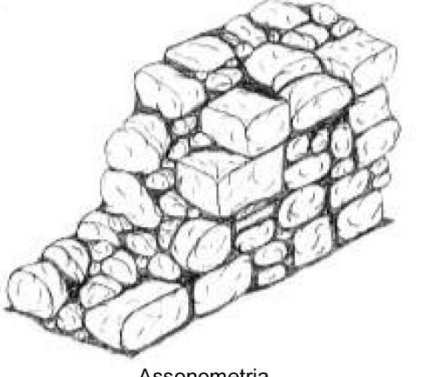
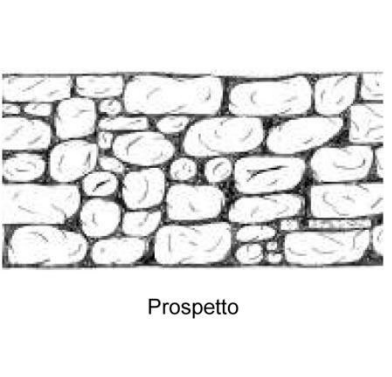
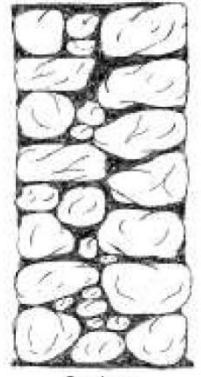
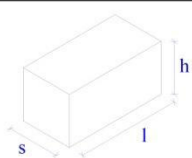
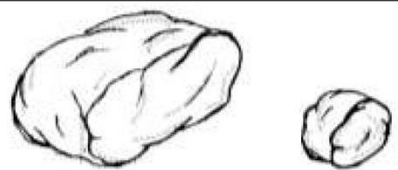
SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA							NUM. 08																															
											FOTO																											
							SCHEMI																															
<p><i>Muratura di blocchi di pietra sbazzata, ciottoli e pietrame a doppio paramento.</i></p> <p>Muratura realizzata con elementi sbazzati di varie forme e dimensioni anche molto diverse tra loro, tessitura muraria non regolare con disposizione di due o più elementi lungo la sezione muraria. Localmente rispettati i filari orizzontali, mentre lo sfalsamento dei giunti verticali è casuale; praticamente assenti i diatoni.</p> <p>Calcare bianco e rosato di Gubbio: compatto a frattura concoide. Calcarei compatti di Perugia: colori dal giallo al grigio al nero. Macigno di Scheggia e Gubbio: arenaria di colore grigio, poco compatta. Malta di polvere di pietra (granulare) e sabbia spesso polverulenta di qualità scadente.</p>																																						
DESCRIZ.																																						
MATER.																																						
GEOMETRIA																																						
 <p>Dimensioni e forme ricorrenti dei blocchi:</p> <p>s = 10 ÷ 17 cm h = 9 ÷ 17 cm l = 15 ÷ 30 cm</p>					DESCRIZ.				MATER.																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>P.D.</th> <th>MA.</th> <th>F. EL.</th> <th>S. G.</th> <th>R. EL.</th> <th>OR.</th> <th>D. EL.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NR</td> <td>NR</td> <td>PR</td> <td>NR</td> <td>R</td> <td>R</td> <td>PR</td> </tr> </tbody> </table>							P.D.	MA.	F. EL.	S. G.	R. EL.	OR.	D. EL.	NR	NR	PR	NR	R	R	PR	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Categoria</th> <th>Verticali</th> <th>Fuori piano</th> <th>Nel piano</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Metodo punteggi</td> <td style="background-color: yellow;">B</td> <td style="background-color: red; color: white;">C</td> <td style="background-color: red; color: white;">C</td> </tr> </tbody> </table>		Categoria	Verticali	Fuori piano	Nel piano	Metodo punteggi	B	C	C	DESCRIZ.				MATER.			
P.D.	MA.	F. EL.	S. G.	R. EL.	OR.	D. EL.																																
NR	NR	PR	NR	R	R	PR																																
Categoria	Verticali	Fuori piano	Nel piano																																			
Metodo punteggi	B	C	C																																			
<p>N.B. Sul paramento interno ciottoli di dimensione minima. La LMT nel piano è PR sul paramento esterno ed NR sul paramento interno di ciottoli, pertanto il giudizio sul parametro SG relativo allo sfalsamento dei giunti verticali è NR.</p>							<table border="1"> <thead> <tr> <th>LMT (sezione)</th> <th>IQM</th> <th>Parametri meccanici: valori MIN-MAX</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>4</td> <td> <table border="1"> <thead> <tr> <th>f_m (N/cm²)</th> <th>E (N/mm²)</th> <th>τ_0 (N/cm²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>229-374</td> <td>1099-1579</td> <td>3,3-5,0</td> </tr> </tbody> </table> </td> </tr> </tbody> </table>		LMT (sezione)	IQM	Parametri meccanici: valori MIN-MAX		4	<table border="1"> <thead> <tr> <th>f_m (N/cm²)</th> <th>E (N/mm²)</th> <th>τ_0 (N/cm²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>229-374</td> <td>1099-1579</td> <td>3,3-5,0</td> </tr> </tbody> </table>	f_m (N/cm ²)	E (N/mm ²)	τ_0 (N/cm ²)	229-374	1099-1579	3,3-5,0	DESCRIZ.				MATER.													
LMT (sezione)	IQM	Parametri meccanici: valori MIN-MAX																																				
	4	<table border="1"> <thead> <tr> <th>f_m (N/cm²)</th> <th>E (N/mm²)</th> <th>τ_0 (N/cm²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>229-374</td> <td>1099-1579</td> <td>3,3-5,0</td> </tr> </tbody> </table>	f_m (N/cm ²)	E (N/mm ²)	τ_0 (N/cm ²)	229-374	1099-1579	3,3-5,0																														
f_m (N/cm ²)	E (N/mm ²)	τ_0 (N/cm ²)																																				
229-374	1099-1579	3,3-5,0																																				
ANALISI IQM																																						



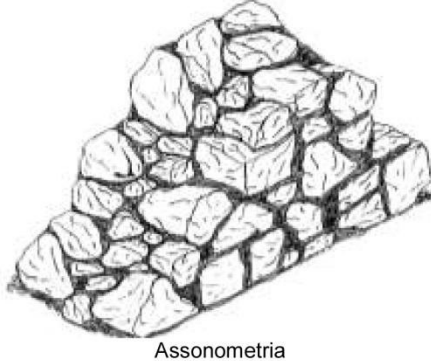
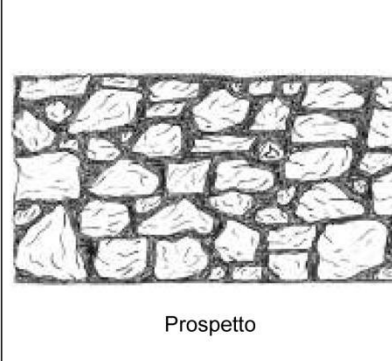

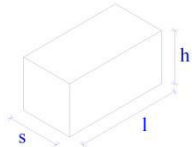

SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA							NUM. 09				
											FOTO
							SCHEMI				
<p><i>Muratura di blocchi di pietra scaglia grossolanamente squadrata con riempimento interno "muratura a sacco".</i></p> <p>Muratura composta da due paramenti realizzati con blocchi squadrate di pietra scaglia rosa con interposto riempimento con scaglie e detriti della stessa roccia. Paramento esterno più curato nei dettagli costruttivi e realizzato con elementi di dimensioni maggiori e più regolari rispetto al paramento interno. Tessitura muraria con rispetto dei filari orizzontali, sfalsamento parziale dei giunti verticali e assenza di diatoni.</p> <p>Calcare bianco e rosato di Gubbio: compatto a frattura concoide.</p> <p>Scaglia rossa dell'Umbria: calcare compatto a frattura concoide, colore variabile.</p> <p>Calcarei del Subasio: calcari bianchi e rossi, duri e compatti.</p> <p>Malta di graniglia e polvere di cava di qualità scadente.</p>								DESCRIZIONE			
<p>Dimensioni e forme ricorrenti dei blocchi:</p> <p>s = 12 ÷ 30 cm</p> <p>h = 8 ÷ 18 cm</p> <p>l = 15 ÷ 40 cm</p> 							MATER.				
							GEOMETRIA				
P.D.	MA.	F. EL.	S. G.	R. EL.	OR.	D. EL.	Categoria	Verticali	Fuori piano	Nel piano	ANALISI IQM
NR	NR	PR	PR	R	R	PR	Metodo punteggi	B	C	B	
<p>N.B. Per tener conto del riempimento interno i giudizi su alcuni parametri sono mediati fra la configurazione dei due paramenti esterni e quella del riempimento interno.</p> <p>Il parametro OR non è stato mediato in quanto l'efficacia dei filari orizzontali si esplica principalmente attraverso i paramenti esterni della parete (capacità di oscillare attorno a cerniere orizzontali e capacità di distribuire carichi).</p>							LMT (sezione)		<125	188	
							IQM	4,5	4	3,5	
							Parametri meccanici: valori MIN-MAX	f _m (N/cm ²)	E (N/mm ²)	τ ₀ (N/cm ²)	256-413



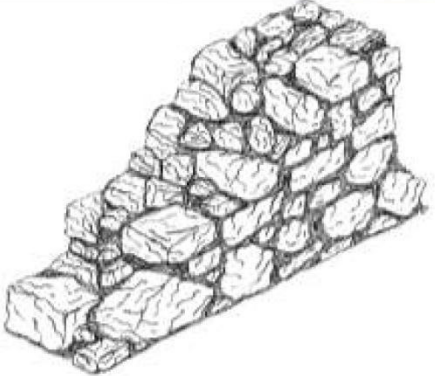


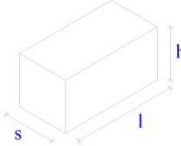
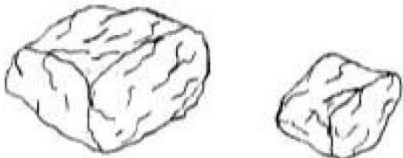

SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA							NUM. 10				
											FOTO
							SCHEMI				
<p><i>Muratura di blocchi di pietra sbalzata e ciottoli con interposizione di pietrame e ciottolame.</i></p> <p>Muratura realizzata con blocchi di pietra sbalzata, ciottoli e laterizi, di dimensioni e forme molto diverse tra loro. Tessitura muraria irregolare con filari orizzontali raramente presenti e regolarizzati con frammenti di pietrame, scaglie di pietra e malta grossa; assenza di diatoni e sfalsamento dei giunti verticali approssimativo.</p> <p>Malta di polvere di cava e sabbia, di qualità scadente.</p> <p>Ciottoli di fiume naturali e spaccati.</p> <p>Calcarei compatti e a frattura concoide, colori vari.</p>								DESCRIZIONE			
<p>Dimensioni e forme ricorrenti dei blocchi:</p> <p>s = 8 ÷ 15 cm</p> <p>h = 8 ÷ 15 cm</p> <p>l = 10 ÷ 22 cm</p> 							MATER.				
							GEOMETRIA				
P.D.	MA.	F. EL.	S. G.	R. EL.	OR.	D. EL.	Categoria	Verticali	Fuori piano	Nel piano	ANALISI IQM
NR	PR	PR	NR	R	NR	NR	Metodo punteggi	C	C	C	
<p>N.B. La presenza di zeppe fa in modo che MA e F.EL. siano parzialmente rispettate.</p>							LMT (sezione)		110	125	
							IQM	2	1,5	2	
							Parametri meccanici: valori MIN-MAX	f _m (N/cm ²)	E (N/mm ²)	τ ₀ (N/cm ²)	146-251

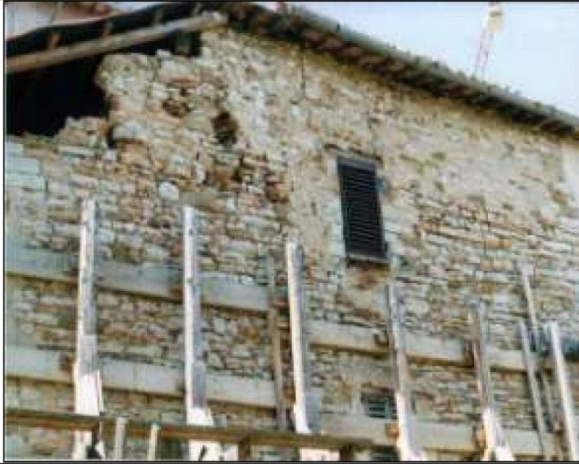

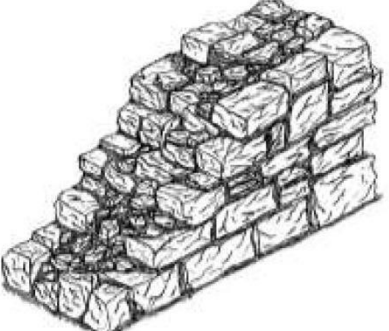
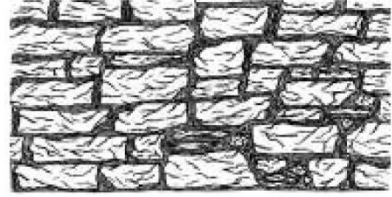

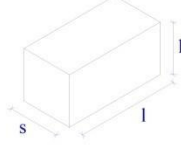


SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA								NUM. 11					
								FOTO					
 <p style="text-align: center;">Assonometria</p>		 <p style="text-align: center;">Prospetto</p>			 <p style="text-align: center;">Sezione</p>			SCHEMI					
<p><i>Muratura di blocchi di pietra sbozzata, ciottoli, laterizi e detriti vari.</i> Muratura costituita da blocchi di pietra sbozzata di vario genere, ciottoli di fiume e laterizi; tessitura muraria caotica con assenza di filari orizzontali e sfalsamento dei giunti verticali. Presenza di diatoni casuale e parzialmente occupanti lo spessore murario. Malta di calce e sabbia mista a graniglia di cava, di qualità scadente.</p>								DESCRIZ.					
<p>Ciottoli di fiume naturali e spaccati. Calcarì compatti e a frattura concoide, colori vari. Laterizi di argilla cotta, interi o spaccati.</p>								MATER.					
		<p>Dimensioni e forme ricorrenti dei blocchi:</p> <p>s = 8 ÷ 15 cm h = 8 ÷ 15 cm l = 10 ÷ 26 cm</p>						GEOMETRIA					
P.D.	MA.	F. EL.	S. G.	R. EL.	OR.	D. EL.	Categoria	Verticali	Fuori piano	Nel piano	ANALISI IQM		
NR	PR	PR	NR	R	NR	NR	Metodo punteggi	C	C	C			
							LMT (sezione)		125	127			
							IQM	2	1,5	2			
							Parametri meccanici: valori MIN-MAX	f_m (N/cm ²) 146-251	E (N/mm ²) 776-1139	τ_0 (N/cm ²) 2,9-4,5			
<p>N.B. La presenza di zeppe fa in modo che MA e F.EL. siano parzialmente rispettate. PD è non rispettata anche a causa del limitato numero di pietre passanti fra i due paramenti.</p>													



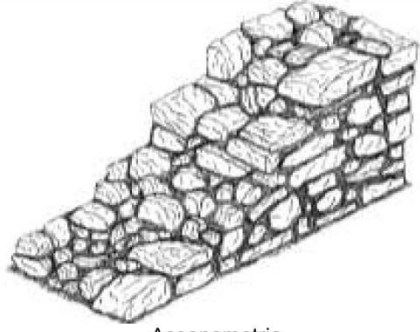
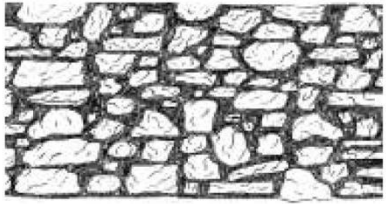

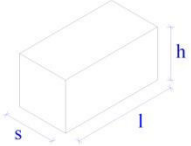
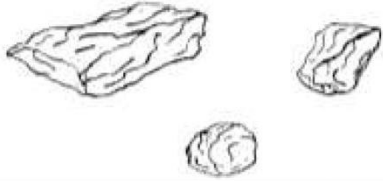
SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA								NUM. 12					
								FOTO					
 <p style="text-align: center;">Assonometria</p>		 <p style="text-align: center;">Prospetto</p>			 <p style="text-align: center;">Sezione</p>			SCHEMI					
<p><i>Muratura di blocchi di pietra sbozzata talvolta con presenza di laterizi e ciottoli.</i> Muratura in pietra calcarea bianca o rosata, talvolta sono presenti localmente laterizi o ciottoli di fiume. Tessitura muraria nel rispetto dell'orizzontalità dei filari con filari regolari di altezze diverse. Sfalsamento dei giunti verticali approssimativo e praticamente assenti i diatoni passanti.</p>								DESCRIZ.					
<p>Ciottoli di fiume naturali e spaccati. Calcarì compatti e a frattura concoide, colori vari. Laterizi di argilla cotta. Malta di calce e sabbia di qualità intermedia.</p>								MATERIALI					
		<p>Dimensioni e forme ricorrenti dei blocchi:</p> <p>s = 8 ÷ 15 cm h = 8 ÷ 13 cm l = 10 ÷ 25 cm</p>						GEOMETRIA					
P.D.	MA.	F. EL.	S. G.	R. EL.	OR.	D. EL.	Categoria	Verticali	Fuori piano	Nel piano	ANALISI IQM		
NR	PR	R	PR	R	R	PR	Metodo punteggi	A	B	A			
							LMT (sezione)		119	158			
							IQM	6,5	5,5	5,5			
							Parametri meccanici: valori MIN-MAX	f_m (N/cm ²) 400-615	E (N/mm ²) 1697-2375	τ_0 (N/cm ²) 6,2-9,0			
<p>N.B. L'ingranamento trasversale è assente (si veda il valore della LMT fuori piano).</p>													


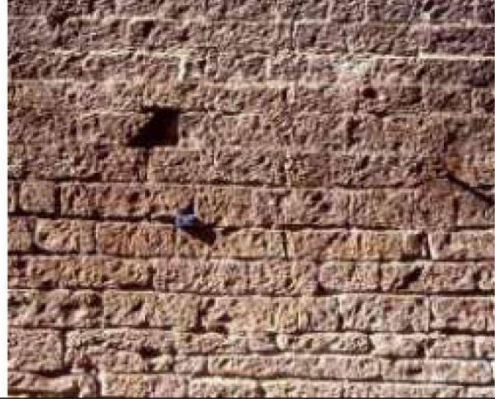
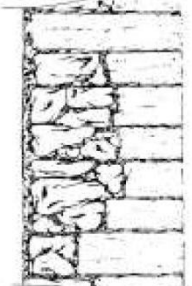
SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA								NUM. 13				
								FOTO				
									SCHEMI			
Assonometria			Prospetto			Sezione						
<p><i>Muratura di blocchi di pietra sbazzata e ciottoli con interposizione di pietrame e ciottolame.</i> Muratura mista realizzata con elementi sbazzati di varie forme e dimensioni anche molto diverse tra loro, tessitura muraria non regolare; filari non sempre orizzontali e sfalsamento dei giunti verticali approssimativo. Assenza di elementi trasversali (diatoni). La parete esterna presenta una accuratezza maggiore nella scelta e disposizione delle pietre rispetto a quella interna.</p>												
<p>Ciottoli di fiume naturali e spaccati. Calcarci compatti e a frattura concoide, colori vari. Malta di graniglia di pietra e sabbia spesso polverulenta di qualità scadente.</p>												
<p>Dimensioni e forme ricorrenti dei blocchi:</p>  <p>s = 15 ÷ 25 cm h = 8 ÷ 15 cm l = 15 ÷ 30 cm</p> 												
P.D.	MA.	F. EL.	S. G.	R. EL.	OR.	D. EL.	Categoria	Verticali	Fuori piano	Nel piano		
NR	PR	PR	NR	R	NR	PR	Metodo punteggi	B	C	C		
							LMT (sezione)		110	122		
							IQM	2,5	2	2,5		
							Parametri meccanici: valori MIN-MAX	f _m (N/cm ²) 164-278	E (N/mm ²) 847-1236	τ ₀ (N/cm ²) 3,3-5,0		
<p>N.B. La presenza di zeppe fa in modo che MA e F.EL. siano parzialmente rispettate.</p>												

SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA								NUM. 14				
								FOTO				
									SCHEMI			
Assonometria			Prospetto			Sezione						
<p><i>Muratura di pietra calcarea con elementi di forma e dimensione irregolare.</i> Muratura realizzata con calcare massiccio di colore bianco, doppio paramento con interposizione interna casuale di scaglie e pietre piccole. Paramento esterno realizzato con blocchi di pietra di medie dimensioni e forma non regolare, inzeppati con scaglie della stessa pietra. La tessitura muraria si presenta irregolare senza il rispetto dei filari orizzontali né lo sfalsamento dei giunti verticali; diatoni assenti. Il paramento interno ricalca le caratteristiche di quello esterno ma con minor accuratezza nella scelta e disposizione delle pietre.</p>												
<p>Calcarci compatti e a frattura concoide, colori vari. Malta di calce e sabbia di scarsa qualità.</p>												
<p>Dimensioni e forme ricorrenti dei blocchi:</p>  <p>s = 8 ÷ 15 cm h = 8 ÷ 25 cm l = 10 ÷ 35 cm</p> 												
P.D.	MA.	F. EL.	S. G.	R. EL.	OR.	D. EL.	Categoria	Verticali	Fuori piano	Nel piano		
NR	PR	PR	NR	R	NR	PR	Metodo punteggi	B	C	C		
							LMT (sezione)		118	116		
							IQM	2,5	2	2,5		
							Parametri meccanici: valori MIN-MAX	f _m (N/cm ²) 164-278	E (N/mm ²) 847-1236	τ ₀ (N/cm ²) 3,3-5,0		
<p>N.B. La presenza di zeppe fa in modo che MA e F.EL. siano parzialmente rispettate.</p>												


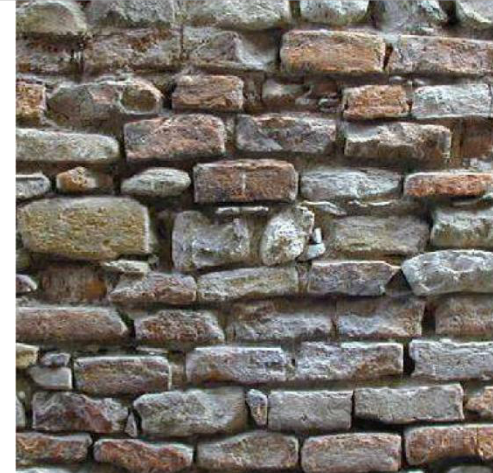

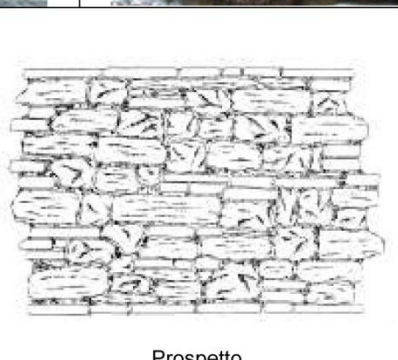
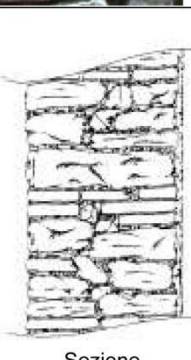
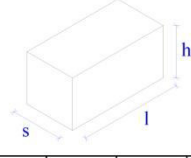
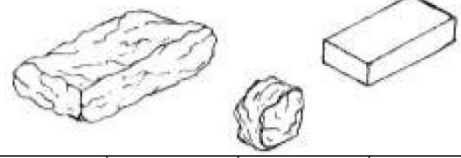
SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA							NUM. 15											
														FOTO				
											SCHEMI							
Assonometria			Prospetto				Sezione											
<p>Muratura di blocchi sbazzati di pietra calcarea, di varie dimensioni e forme, misti a scaglie. Muratura in pietra calcarea bianca e rossastra (calcare compatto e pietra scaglia), costituito da blocchi di forme varie ed irregolari disposte in modo casuale con interposizione di scaglie e frammenti delle stesse pietre. Tessitura muraria caotica, filari orizzontali e sfalsamento dei giunti verticali non rispettati. Assenza di diatoni.</p>											DESCRIZ.							
<p>Ciottoli di fiume naturali e spaccati. Calcari compatti e a frattura concoide, colori vari. Malta di calce e polvere di cava granulare, di qualità scadente.</p>											MATER.							
 <p>Dimensioni e forme ricorrenti dei blocchi:</p> <p>s = 10 ÷ 15 cm h = 5 ÷ 15 cm l = 10 ÷ 25 cm</p>							<p>Dimensioni e forme ricorrenti dei blocchi:</p> <p>s = 8 ÷ 16 cm h = 7 ÷ 15 cm l = 15 ÷ 35 cm</p>								GEOMETRIA			
P.D.	MA.	F. EL.	S. G.	R. EL.	OR.	D. EL.	Categoria	Verticali	Fuori piano	Nel piano	ANALISI IQM							
NR	NR	NR	NR	R	NR	NR	Metodo punteggi	C	C	C								
							LMT (sezione)		110	113								
							IQM	0	0	0								
							Parametri meccanici: valori MIN-MAX	f _m (N/cm ²) 94-169	E (N/mm ²) 548-821	τ ₀ (N/cm ²) 1,9-3,0								

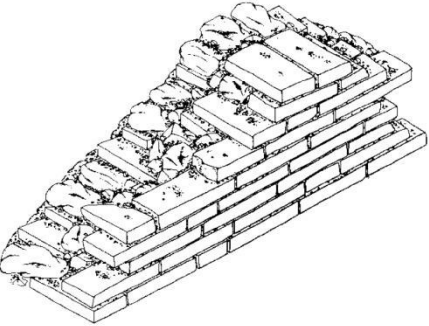
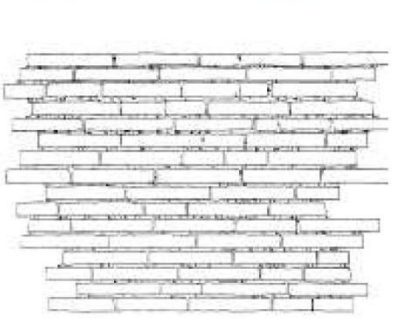
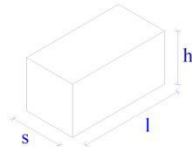
SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA							NUM. 16											
														FOTO				
											SCHEMI							
Assonometria			Prospetto				Sezione											
<p>Muratura di pietra calcarea bianca o rosa di forma irregolare mista a scaglie e detriti. Muratura realizzata con pietra scaglia rosa o bianca, costituita da blocchi sbazzati di dimensioni medie con interposti in modo caotico scaglie e detriti più piccoli. Tessitura muraria caotica, filari orizzontali, sfalsamento dei giunti verticali e diatoni assenti.</p>											DESCRIZ.							
<p>Ciottoli di fiume naturali e spaccati. Calcari compatti e a frattura concoide, colori vari. Calcare bianco e rosato di Gubbio: compatto a frattura concoide. Scaglia rossa dell'Umbria: calcare compatto a frattura concoide, colore variabile. Calcari del Subasio: calcari bianchi e rossi, duri e compatti. Malta di calce e graniglia di cava di qualità scadente.</p>											MATER.							
 <p>Dimensioni e forme ricorrenti dei blocchi:</p> <p>s = 8 ÷ 16 cm h = 7 ÷ 15 cm l = 15 ÷ 35 cm</p>							<p>Dimensioni e forme ricorrenti dei blocchi:</p> <p>s = 8 ÷ 16 cm h = 7 ÷ 15 cm l = 15 ÷ 35 cm</p>								GEOMETRIA			
P.D.	MA.	F. EL.	S. G.	R. EL.	OR.	D. EL.	Categoria	Verticali	Fuori piano	Nel piano	ANALISI IQM							
NR	PR	PR	NR	R	PR	PR	Metodo punteggi	B	C	C								
							LMT (sezione)		110	125								
							IQM	3,5	3	3								
							Parametri meccanici: valori MIN-MAX	f _m (N/cm ²) 205-339	E (N/mm ²) 1007-1455	τ ₀ (N/cm ²) 3,6-5,5								


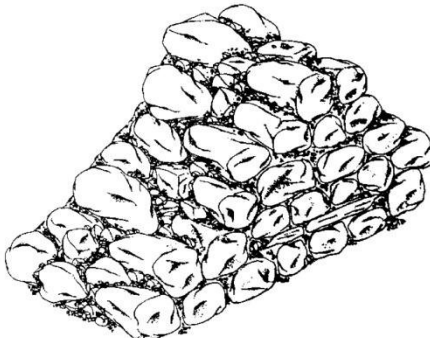
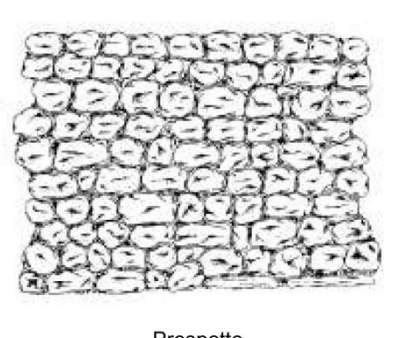
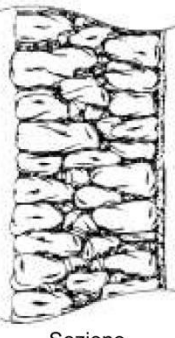
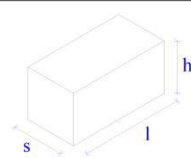
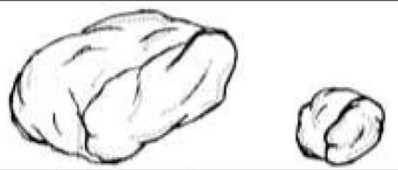
SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA							NUM. 17				
											FOTO
									SCHEMI		
<p><i>Muratura di pietra di dimensioni minute, mista a ciottoli naturali o spaccati e pietrame.</i> Muratura realizzata con pietre di vario tipo (calcari, scaglie, talvolta arenarie) e ciottoli di fiume naturali o spaccati. Gli elementi presentano forme molto irregolari (scaglie di pietra) e dimensioni medio-piccole. La tessitura muraria è caotica, non sono rispettati i filari orizzontali, né lo sfalsamento dei giunti verticali; assenti i diatoni.</p>											
<p>Ciottoli di fiume naturali e spaccati. Calcari compatti e a frattura concoide, colori vari. Laterizi (mattoni) di argilla cotta, interi, spaccati e scaglie. Malta di calce e graniglia di cava, talvolta si trova malta di argilla, ambedue di scadente qualità.</p>											
<p>Dimensioni e forme ricorrenti dei blocchi:</p>  <p>s = 8 ÷ 12 cm h = 10 ÷ 15 cm l = 15 ÷ 30 cm</p> 											
P.D.	MA.	F. EL.	S. G.	R. EL.	OR.	D. EL.	Categoria	Verticali	Fuori piano	Nel piano	ANALISI IQM
NR	PR	NR	NR	R	NR	NR	Metodo punteggi	C	C	C	
							LMT (sezione)		126	110	
							IQM	0,5	0,5	1	
							Parametri meccanici: valori MIN-MAX	f _m (N/cm ²) 105-186	E (N/mm ²) 598-891	τ ₀ (N/cm ²) 2,3-3,7	

SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA							NUM. 18				
											FOTO
									SCHEMI		
<p><i>Muratura mista di ciottoli e pietrame con paramento di pietra perfettamente squadrata.</i> Il paramento esterno è costituito da conci di pietra lavorati: si tratta in genere della pietra calcarea bianca o rosa e talvolta di arenaria. Gli elementi sono posti in opera a filari regolari di altezze non molto diverse. I conci posti di chiave si alternano con una certa regolarità a quelli di fascia e possono raggiungere dimensioni di 70-80 cm. Spesso si riscontra questa muratura al piano terra di edifici che ai piani superiori presentano invece murature di altro tipo. All'interno sono presenti ciottoli e pietre appena sbazzate.</p>											
<p>Calcari bianchi e rossi, duri e compatti. Macigno di Scheggia e Gubbio: grigio, simile alla pietra serena toscana. Pietra serena del Trasimeno e dell'altotevere: colore grigiastro, con talvolta infiltrazioni giallo marronastre. Malta di calce e sabbia spesso polverulenta ma sufficiente ad assicurare il contatto tra i blocchi. I giunti esterni sono di malta di calce con sabbia o polvere di cava (da qui il colore rosa che spesso si osserva nelle malte con cui sono murati i calcari rossi).</p>											
<p>Dimensioni e forme ricorrenti dei blocchi:</p>  <p>s = 20 ÷ 60 cm h = 15 ÷ 20 cm l = 15 ÷ 70 cm</p> 											
P.D.	MA.	F. EL.	S. G.	R. EL.	OR.	D. EL.	Categoria	Verticali	Fuori piano	Nel piano	ANALISI IQM
R	R	PR	R	R	R	R	Metodo punteggi	A	A	A	
							LMT (sezione)		166	184	
							IQM	8,5	9	9	
							Parametri meccanici: valori MIN-MAX	f _m (N/cm ²) 625-915	E (N/mm ²) 2402-3294	τ ₀ (N/cm ²) 13,3-18,2	

SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA								NUM. 19			
											FOTO
								SCHEMI			
Assonometria			Prospetto			Sezione					
<p><i>Muratura mista di ciottoli e pietrame con paramento esterno di pietra (scaglia) grossolanamente squadrata.</i></p> <p>Il paramento esterno è in pietra calcarea grossolanamente sbazzata. L'apparecchio ha corsi regolari di differenti altezze, nel quale le commessure tra gli elementi sono molto più sottili che nel muro di ciottoli. La superficie esterna è spesso a faccia vista.</p> <p>Il paramento interno, invece, è costituito da pietrame con i giunti "rinzeppati" con ciottoli più piccoli e frammenti di pietra.</p> <p>Il "sacco" interno è molto sottile, talvolta anche assente (muri a doppia cortina).</p> <p>La corretta apparecchiatura è legata alla presenza di elementi di notevole dimensione.</p> <p>Calcarei bianchi e rossi, duri e compatti. Macigno di Scheggia e Gubbio: grigio, simile alla pietra serena toscana. Pietra serena del Trasimeno e dell'altotevere: colore grigiastro, con talvolta infiltrazioni giallo marronastre.</p> <p>Malta di calce e sabbia spesso polverulenta ma spesso sufficiente ad assicurare il contatto tra i blocchi.</p>											
<p>DESCRIZIONE</p>											
<p>MATERIALI</p>											
 <p>Dimensioni e forme ricorrenti dei blocchi: $s = 20 \div 50$ cm $h = 15 \div 20$ cm $l = 15 \div 60$ cm</p>						GEOMETRIA					
P.D.	MA.	F. EL.	S. G.	R. EL.	OR.	D. EL.	Categoria	Verticali	Fuori piano	Nel piano	
R	PR	PR	R	R	R	PR	Metodo punteggi	A	A	A	
								LMT (sezione)	168	164	
								IQM	6,5	8	7,5
								Parametri meccanici: valori MIN-MAX	f_m (N/cm ²) 400-615	E (N/mm ²) 1697-2375	τ_0 (N/cm ²) 9,6-13,5
ANALISI IQM											

SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA								NUM. 20			
											FOTO
								SCHEMI			
Assonometria			Prospetto			Sezione					
<p><i>Muratura mista di ciottoli, pietrame e laterizi legati con malta di calce e sabbia.</i></p> <p>I paramenti esterni ed interni sono simili. Gli elementi in laterizio sono posti in opera in maniera disordinata e pertanto non concorrono alla formazione di piani di posa regolari. Le caratteristiche costruttive non variano con l'aumentare dello spessore. Per l'abbondanza di materiale di risulta questo tipo murario è riscontrabile in opere di trasformazione edilizia o di ricostruzione di edifici danneggiati a causa di terremoti.</p> <p>Calcarei bianchi e rossi, duri e compatti. Macigno di Scheggia e Gubbio: grigio, simile alla pietra serena toscana. Pietra serena del Trasimeno e dell'altotevere: colore grigiastro, con talvolta infiltrazioni giallo marronastre.</p> <p>Laterizio. Malta di calce e sabbia spesso polverulenta.</p>											
<p>DESCRIZIONE</p>											
<p>MATERIALI</p>											
 <p>Dimensioni e forme ricorrenti dei blocchi: $s = 8 \div 15$ cm $h = 8 \div 15$ cm $l = 10 \div 26$ cm</p>						GEOMETRIA					
P.D.	MA.	F. EL.	S. G.	R. EL.	OR.	D. EL.	Categoria	Verticali	Fuori piano	Nel piano	
R	PR	PR	PR	R	PR	NR	Metodo punteggi	B	B	A	
								LMT (sezione)	172	146	
								IQM	4,5	6	5,5
								Parametri meccanici: valori MIN-MAX	f_m (N/cm ²) 256-413	E (N/mm ²) 1199-1713	τ_0 (N/cm ²) 6,2-9,0
<p>N.B. La presenza di zeppe fa in modo che MA e F.EL. siano parzialmente rispettate.</p>											
ANALISI IQM											

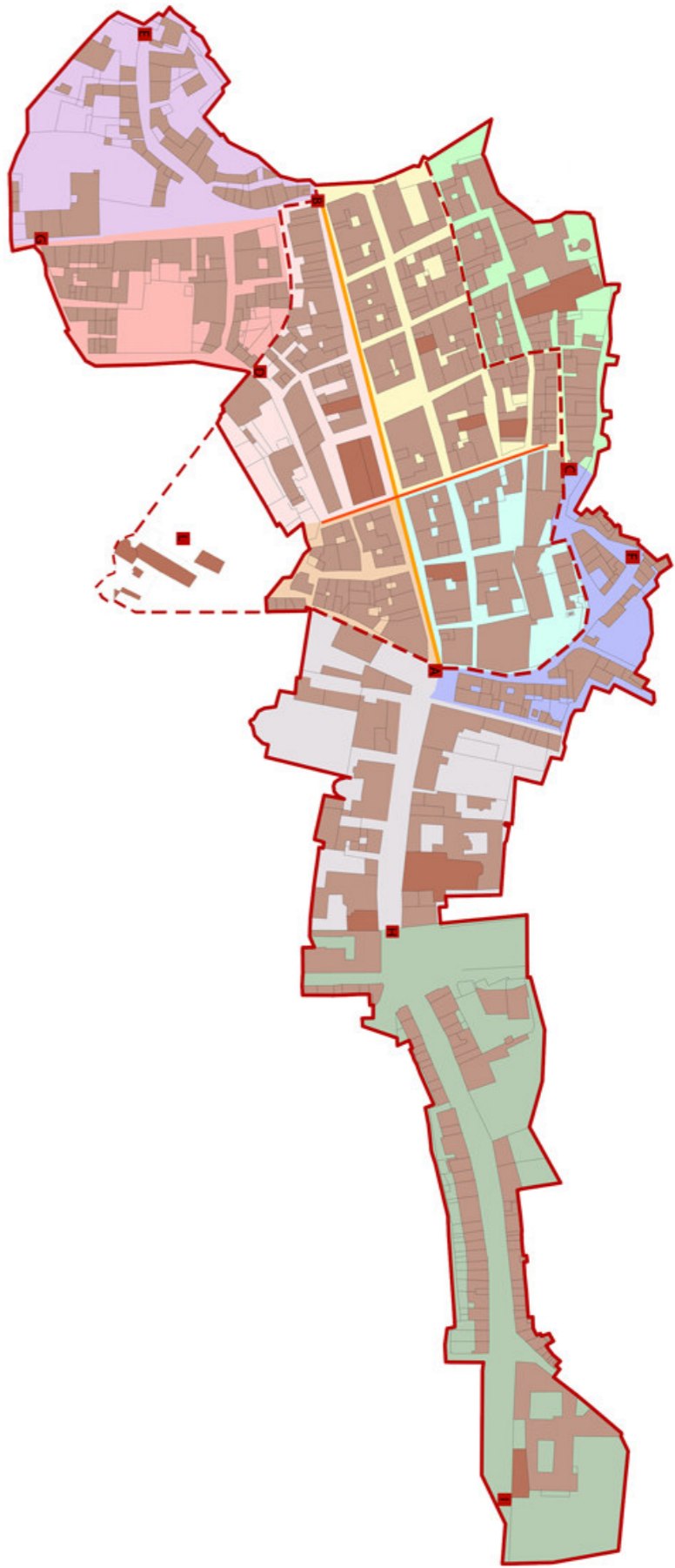
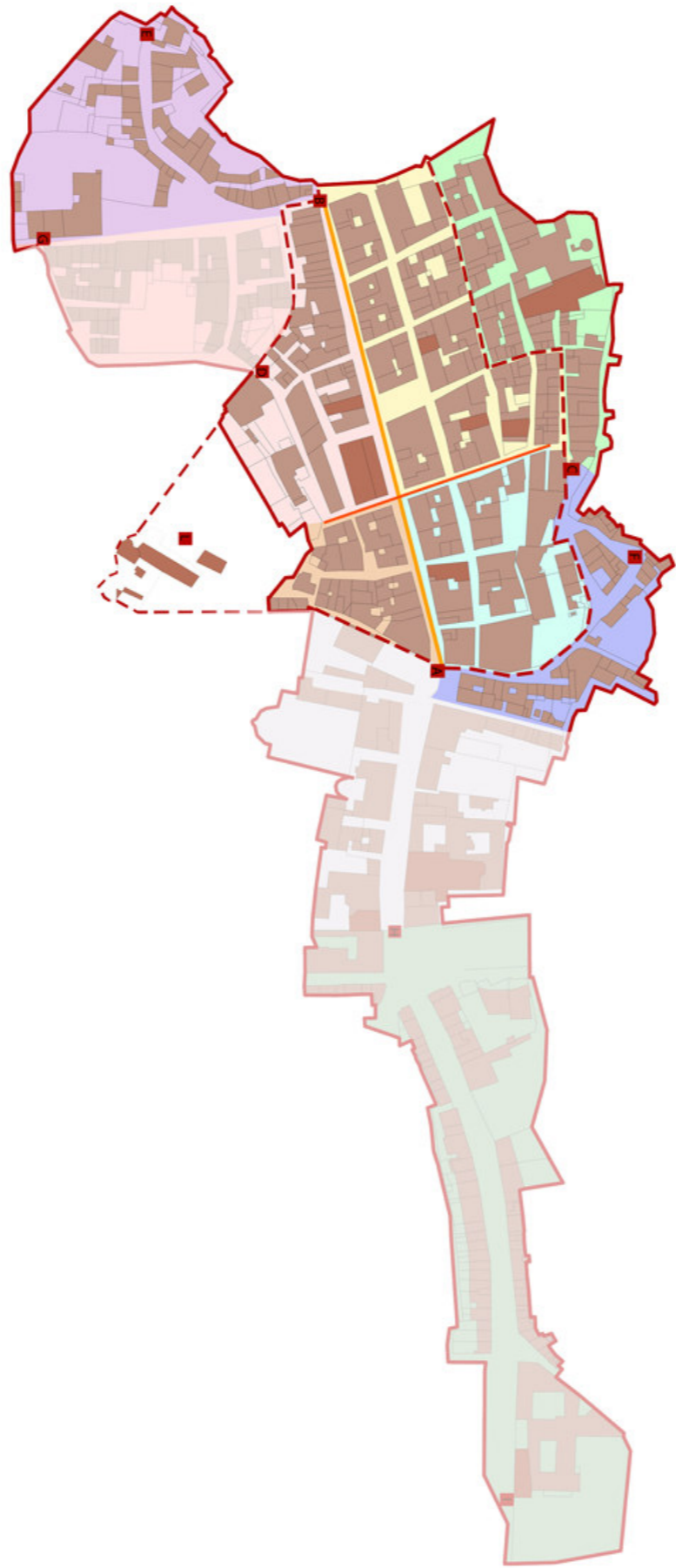
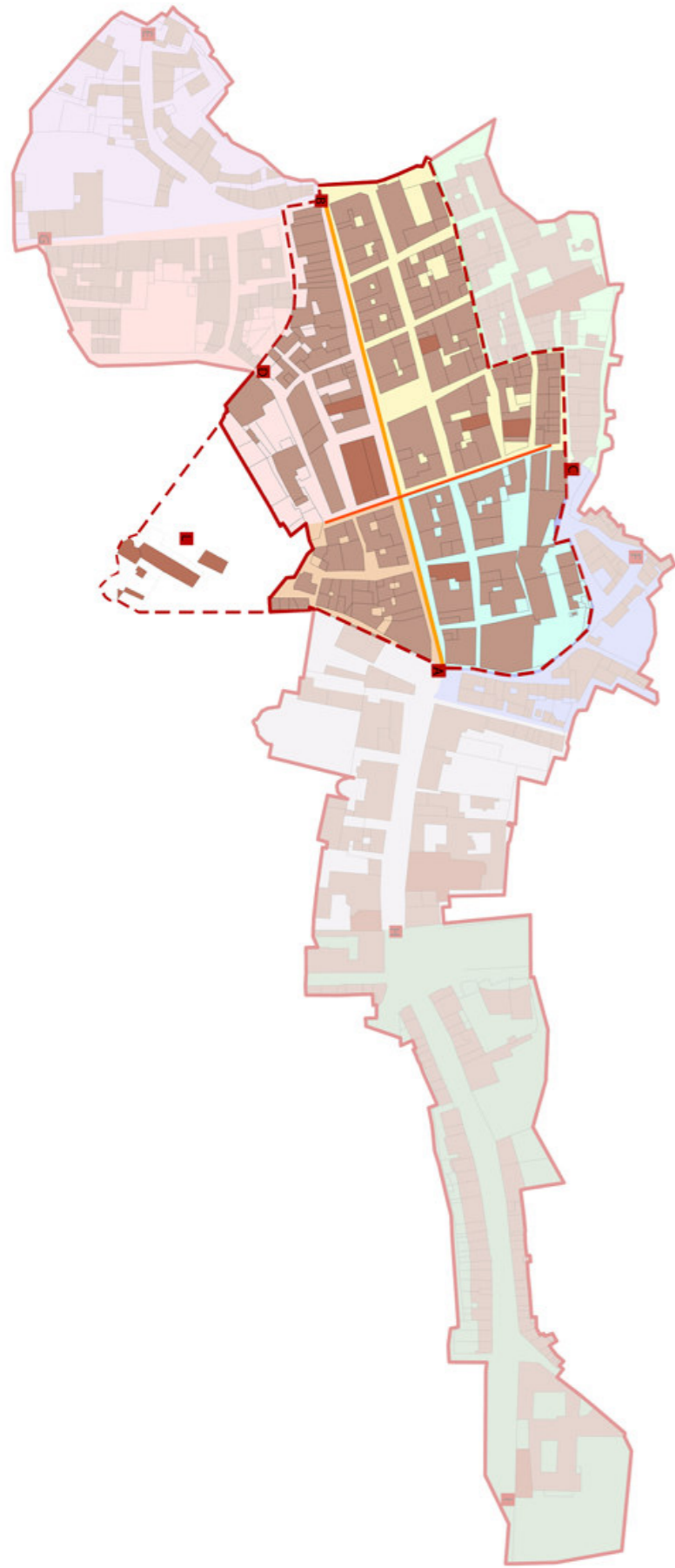
SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA							NUM. 21				
							FOTO				
							SCHEMI				
<p><i>Muratura mista di ciottoli, pietrame e laterizi legati con malta di calce e sabbia, con paramento di mattoni.</i></p> <p>Il pannello murario si presenta diviso in due cortine: quella esterna è costituita da un rivestimento di mattoni messi di fascia a cui si alternano mattoni messi di testa responsabili della connessione con il resto della massa muraria.</p> <p>Lo spessore tipico è di 50-60 cm. I muri di questa fattura si riconoscono dall'esterno per la prevalenza di mattoni messi di costa. L'entità di questo spessore si è dimostrata adeguata per i muri portanti. Occorre ad ogni modo verificare la presenza di elementi passanti o almeno disposti in profondità.</p>							DESCRIZIONE				
<p>Frammenti di pietra e conci sbozzati di vario genere, spesso arenaria e calcare.</p> <p>Laterizio.</p> <p>Malta di calce e sabbia.</p>							MATER.				
<p>Dimensioni e forme ricorrenti dei blocchi:</p>  <p>s = 8 ÷ 15 cm h = 8 ÷ 15 cm l = 10 ÷ 26 cm</p> 							GEOMETRIA				
P.D.	MA.	F. EL.	S. G.	R. EL.	OR.	D. EL.	Categoria	Verticali	Fuori piano	Nel piano	ANALISI IQM
R	R	PR	PR	R	PR	PR	Metodo punteggi	A	A	A	
							LMT (sezione)		176	254	
							IQM	6,5	7	7	
							Parametri meccanici: valori MIN-MAX	f _m (N/cm ²) 400-615	E (N/mm ²) 1697-2375	τ ₀ (N/cm ²) 8,6-12,2	

SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA							NUM. 22				
							FOTO				
							SCHEMI				
<p><i>Muratura di ciottoli legati con malta di calce e sabbia misti a pietrame e scaglie di pietra.</i></p> <p>Il paramento esterno è costituito da grossi ciottoli spaccati nel mezzo e posti con il lato fratturato sul fronte del muro e la dimensione maggiore secondo la profondità. I ciottoli sono sistemati a filari orizzontali di differenti altezze, con i letti regolarizzati da frammenti di pietrame e malta grossa o da scaglie di pietra poste orizzontalmente.</p> <p>Il paramento interno si differenzia da quello esterno solo per una minore cura nella scelta degli elementi e nella regolarità dei filari. Per elevati spessori dei muri si possono formare superfici di distacco lungo piani verticali interni al setto per la presenza di un nucleo irregolare formato da piccoli ciottoli e materiale minuto.</p>							DESCRIZIONE				
<p>Ciottoli di fiume spesso di arenaria.</p> <p>Malta di calce e sabbia spesso polverulenta.</p>							MATER.				
<p>Dimensioni e forme ricorrenti dei blocchi:</p>  <p>s = 15 ÷ 25 cm h = 8 ÷ 15 cm l = 15 ÷ 30 cm</p> 							GEOMETRIA				
P.D.	MA.	F. EL.	S. G.	R. EL.	OR.	D. EL.	Categoria	Verticali	Fuori piano	Nel piano	ANALISI IQM
NR	NR	NR	NR	R	PR	PR	Metodo punteggi	C	C	C	
							LMT (sezione)		145	117	
							IQM	1,5	1,5	1	
							Parametri meccanici: valori MIN-MAX	f _m (N/cm ²) 131-227	E (N/mm ²) 712-1049	τ ₀ (N/cm ²) 2,3-3,7	

Bibliografia

- AA.VV., 2002. Ricerche per la ricostruzione. Ed. DEI, Roma.
- Angeletti, P., Borri, A., Longhi, F., Nasini, U., Severi, A., 2004. La legge 18/2002 della Regione dell'Umbria sulla prevenzione sismica. *Atti del XI Convegno Nazionale L'ingegneria Sismica in Italia*, 25-29.01.2004, Genova, pp. 61-72.
- Borri, A., 2004. Vulnerabilità e riduzione del rischio sismico del costruito nei centri storici della Regione dell'Umbria. *Rischio Sismico, Territorio e Centri Storici atti Convegno Nazionale*. 2-3 luglio 2004, Sanremo.
- Borri, A., Cangi, G., De Maria, A., 2007. Vulnerabilità sismica del centro storico di Gubbio. *Atti del XII Convegno Nazionale L'ingegneria Sismica in Italia*, 10-14.06.2007, Pisa.
- Borri, A., 2003, La riduzione della vulnerabilità sismica nei centri storici: dalla esperienza di Città di Castello alla legge 18/2002 della Regione dell'Umbria, *Atti del Conv. Naz. "Rischio sismico e pianificazione a scala urbana"*, Roma 5-6 Giugno 2003.
- Borri, A. (resp. scientifico), AA.VV. Studio di Vulnerabilità del Patrimonio Edilizio: il centro storico del comune di Citerna, ricerca per la Regione dell'Umbria
- Borri, A. (resp. scientifico), AA.VV., Studio di Vulnerabilità del Patrimonio Edilizio: il centro storico del comune di Lisciano Niccone, ricerca per la Regione dell'Umbria
- Borri, A. (resp. scientifico), AA.VV., Studio di Vulnerabilità del Patrimonio Edilizio: Il centro storico del comune di Monte Santa Maria Tiberina, ricerca per la Regione dell'Umbria
- Borri, A. (resp. scientifico), AA.VV., Studio di Vulnerabilità del Patrimonio Edilizio: Il centro storico del comune di Montone, ricerca per la Regione dell'Umbria
- Borri, A. (resp. scientifico), AA.VV., Studio di Vulnerabilità del Patrimonio Edilizio: Il centro storico del comune di Pietralunga, ricerca per la Regione dell'Umbria
- Borri, A. (resp. scientifico), AA.VV., Studio di Vulnerabilità del Patrimonio Edilizio: Il centro storico del comune di San Giustino, ricerca per la Regione dell'Umbria
- Borri, A. (resp. scientifico), AA.VV., Studio di Vulnerabilità del Patrimonio Edilizio: Il centro storico del comune di Umbertide, ricerca per la Regione dell'Umbria
- Borri, A. (resp. scientifico), AA.VV., 2002. Studio di Vulnerabilità del Patrimonio Edilizio: Il centro storico del comune di Città di Castello, ricerca per la Regione dell'Umbria
- Giovanetti F. (a cura di), 1992 Manuale del recupero di Città di Castello. Ed. DEI, Roma.
- Gurrieri, F. (a cura di), 1999 Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione post-sismica degli edifici. Ed. DEI, Roma.
- Regione dell'Umbria, L. R. 23 Ottobre 2002 n° 18, Allegato tecnico pubblicato sul BUR del 30 Luglio 2003, "Norme tecniche per la progettazione degli interventi e la realizzazione delle opere di cui alla LEGGE REGIONALE 23 Ottobre 2002, n.18 finalizzate alla riduzione della vulnerabilità sismica"

Tavole grafiche



LEGENDA

- LIMITI CENTRO STORICO
- - - LIMITI NUCLEO ORIGINALE
- DECUMANO
- CARDO

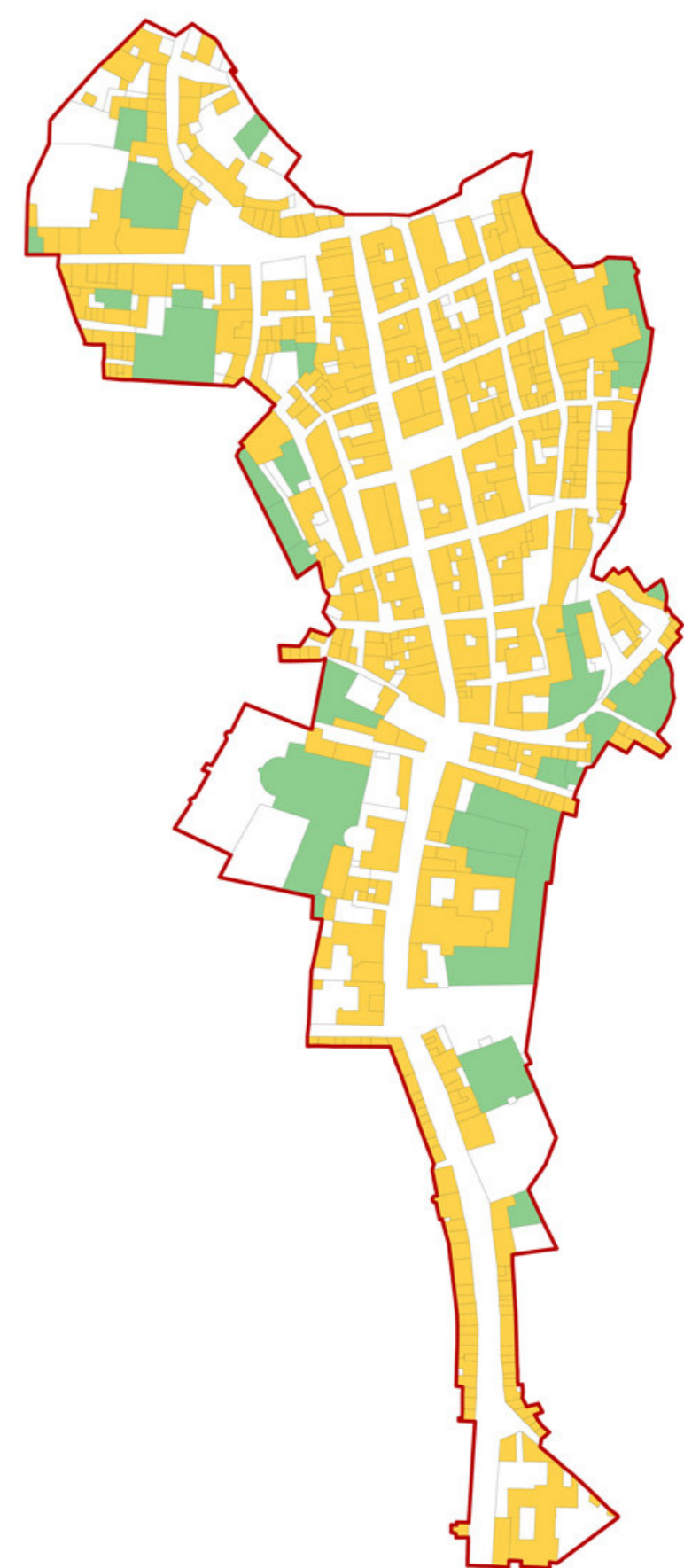
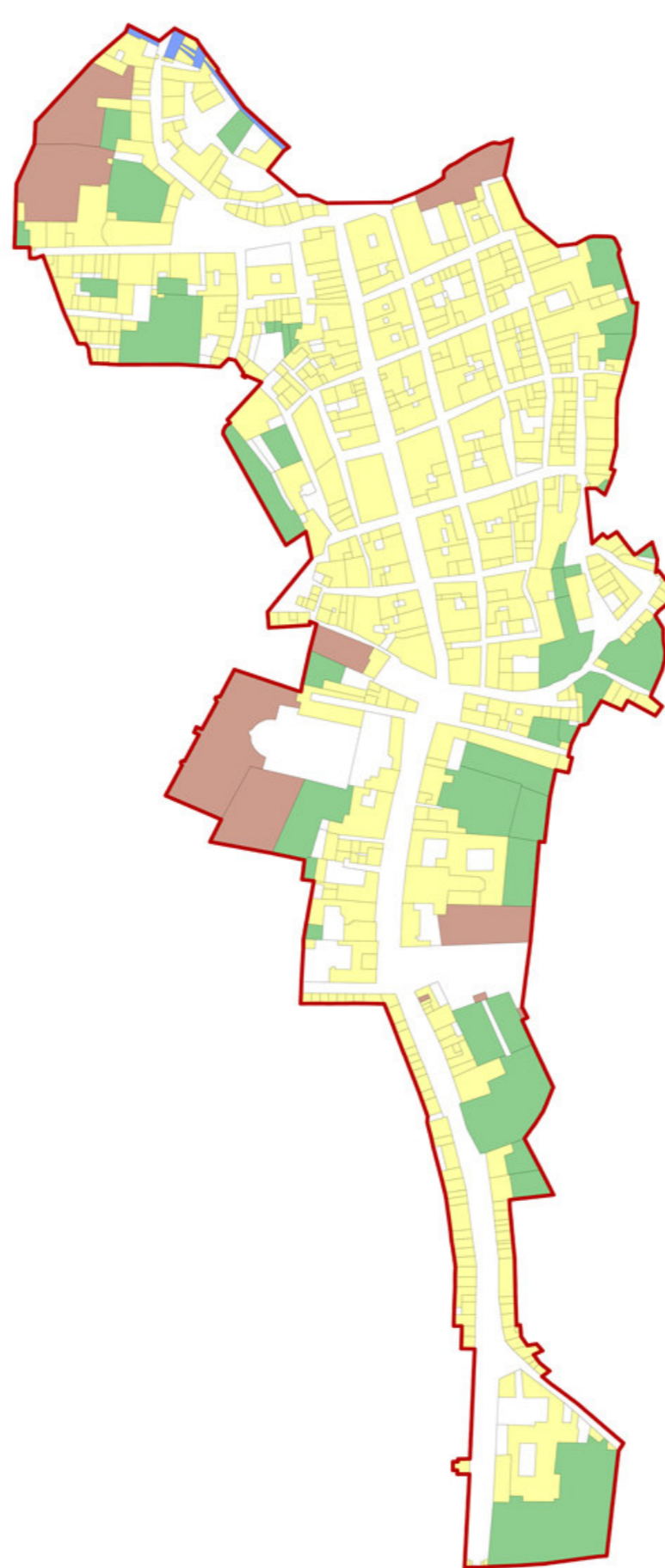
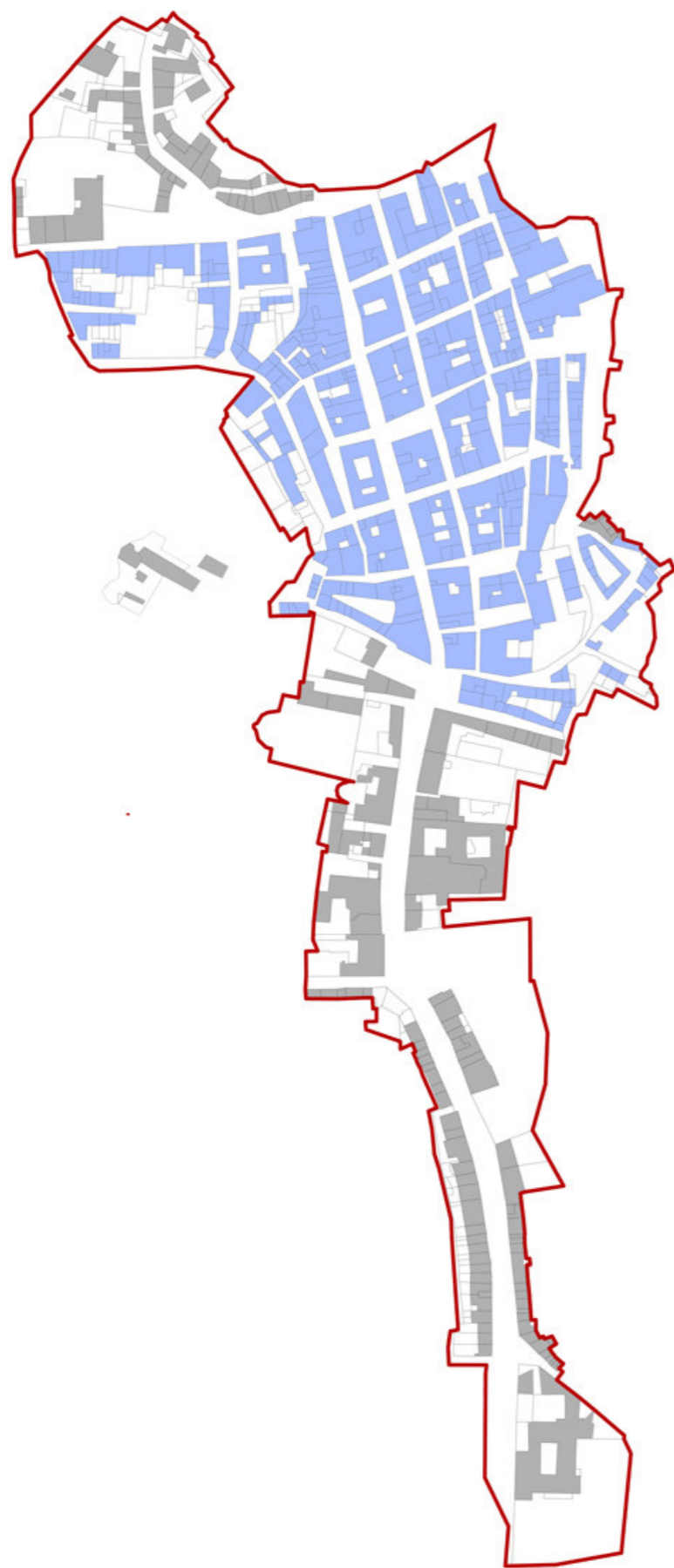
- PORTA DI S. ANDREA (distrutta nel 1686)
- PORTA DELLA PIAGGIOLA (distrutta nel 1616)
- PORTA DI S. MARCO
- PORTA DEL CAMPETELLO (distrutta alla fine del 1700)
- PORTA DELLE CONCE (distrutta nel '700)

- PORTA DELLE TINTE (distrutta nel '700)
- PORTA DI S. GIOVANNI E S. UBALDO (distrutta nel '700)
- PORTA DI S. AGOSTINO (distrutta nel 1686)
- PORTA DI S. GIACOMO (distrutta nel 1921)
- ROCCA

- QUARTIERE DEL MONTE (XIII secolo)
- QUARTIERE DI S. ANDREA (XIII secolo)
- QUARTIERE DI S. MARIA DE PLATEA MAGNA (XIII secolo)
- QUARTIERE DI S. MARCO (XIII secolo)
- QUARTIERE DELLE TINTE (XIV secolo)

- QUARTIERE DI S. FRANCESCO (XIV secolo)
- QUARTIERE DELLE CONCE (XIV secolo)
- QUARTIERE DI S. AGOSTINO (XV secolo)
- QUARTIERE DEL CAMPETELLO (XV secolo)
- QUARTIERE DEL PIANO (XVI secolo)





LEGENDA

— LIMITE CENTRO STORICO

IPOTESI RICOSTRUZIONE BASATA SULLA MAPPA DEL FERRI (1751)

- EDIFICI PRESENTI NELLA PRIMA META' DEL 1700
- PARTI NON LEGGIBILI DAI DOCUMENTI STORICI

RICOSTRUZIONE BASATA SULLA MAPPA DEL CATASTO GREGORIANO (1818)

- EDIFICI PRESENTI NEL 1818
- ZONE PAVIMENTATE
- ZONE DESTINATE A VERDE E ORTI
- FIUME

RICOSTRUZIONE BASATA SUL RILIEVO DEL PERITO SILVIO TARDIOLI (1877)

- EDIFICI PRESENTI NEL 1877
- ZONE DESTINATE A VERDE E ORTI





LEGENDA

— LIMITE CENTRO STORICO

RICOSTRUZIONE BASATA SULLA MAPPA DEL CATASTO DEL 1957

■ EDIFICI PRESENTI NEL 1957

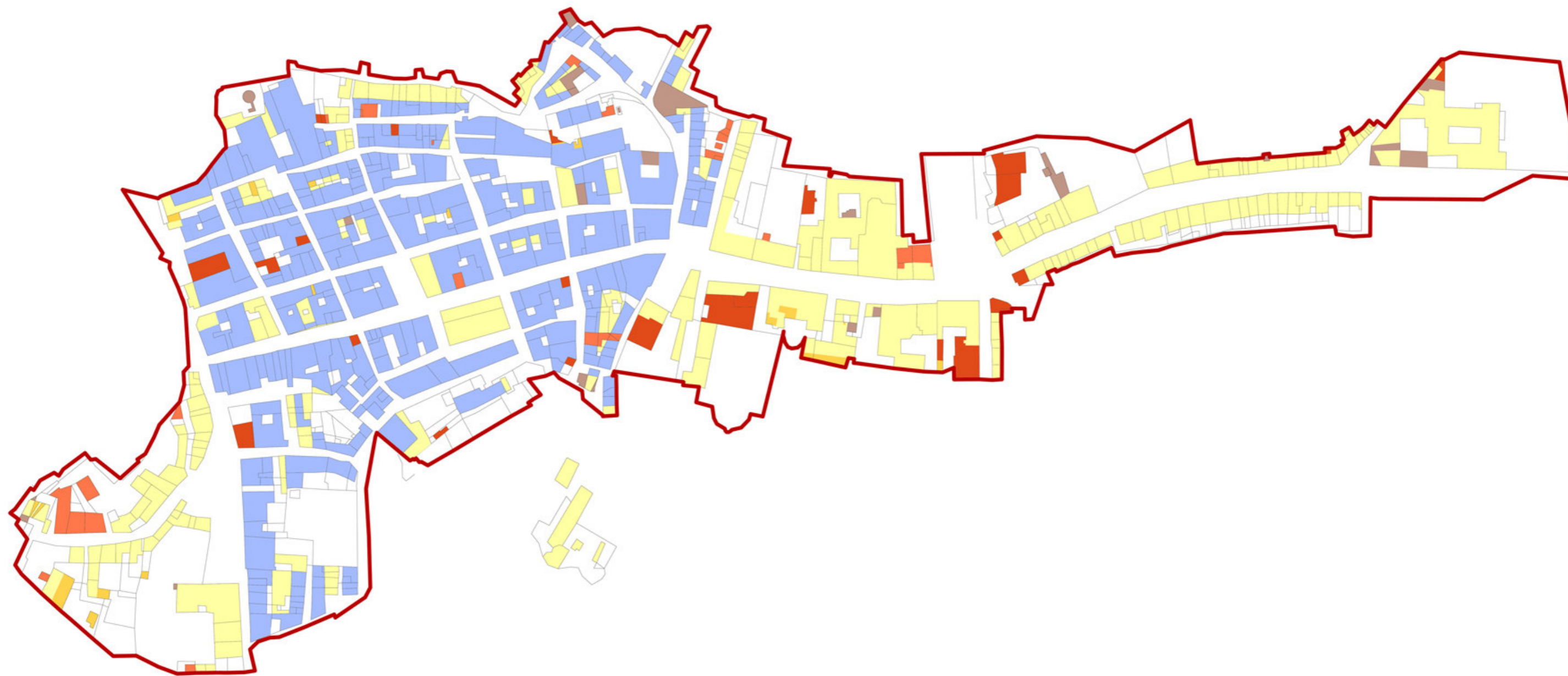
RICOSTRUZIONE BASATA SULLA MAPPA DEL CATASTO DEL 1967

■ EDIFICI PRESENTI NEL 1967

RICOSTRUZIONE BASATA SULLA MAPPA DEL CATASTO DEL 2014

■ EDIFICI PRESENTI NEL 2014

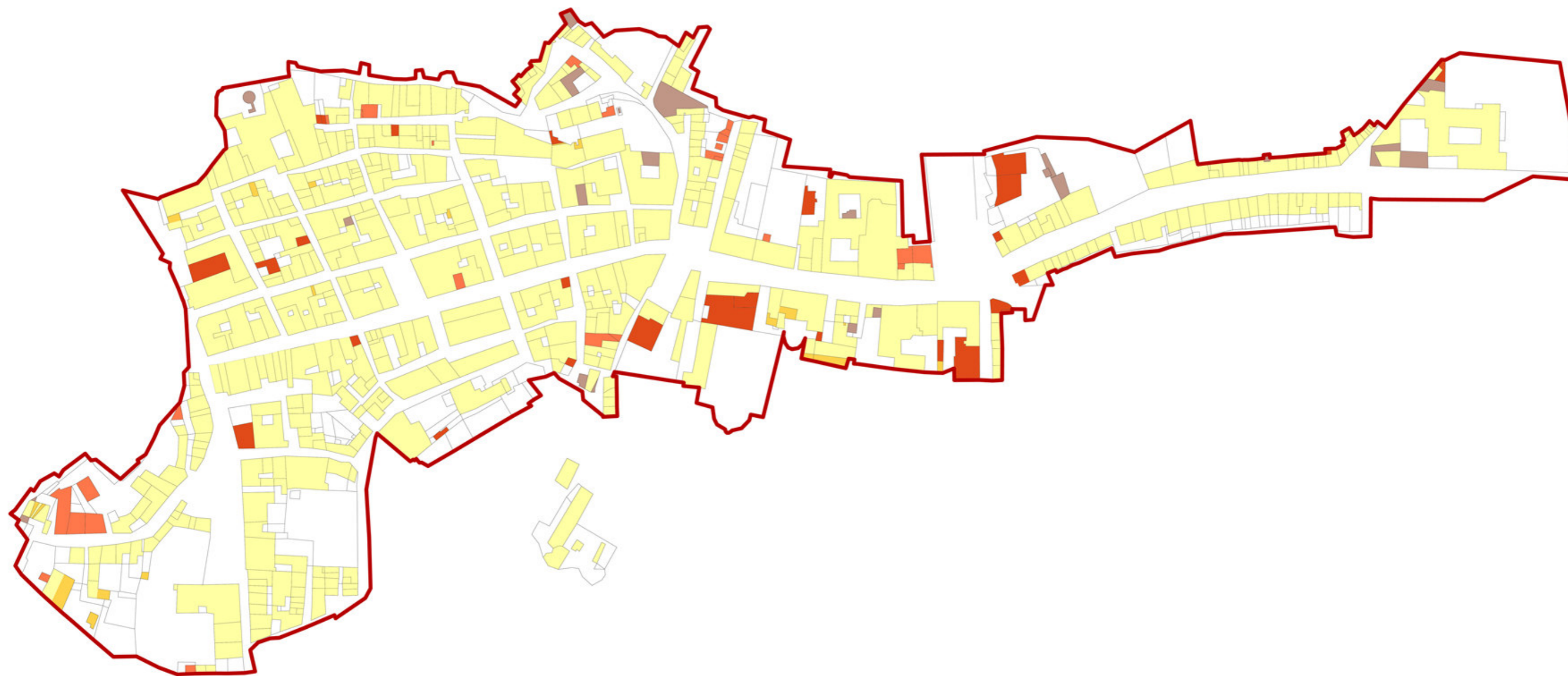




LEGENDA

- LIMITE CENTRO STORICO
- EDIFICI PRESENTI PRIMA DEL 1750
- EDIFICI PRESENTI NEL 1818
- EDIFICI PRESENTI NEL 1877
- EDIFICI PRESENTI NEL 1957
- EDIFICI PRESENTI NEL 1967
- EDIFICI AD OGGI





LEGENDA

- LIMITE CENTRO STORICO
- EDIFICI PRESENTI NEL 1818
- EDIFICI PRESENTI NEL 1877
- EDIFICI PRESENTI NEL 1957
- EDIFICI PRESENTI NEL 1967
- EDIFICI AD OGGI





LEGENDA

— LIMITE CENTRO STORICO

A QUARTIERE SANT' ANDREA

B QUARTIERE SAN MARCO

C QUARTIERE PLATEA MAGNA

D QUARTIERE DEL MONTE

E QUARTIERE DELLE CONCE

F QUARTIERE SAN FRANCESCO

G QUARTIERE DELLE TINTE

H QUARTIERE CAMPETELLO

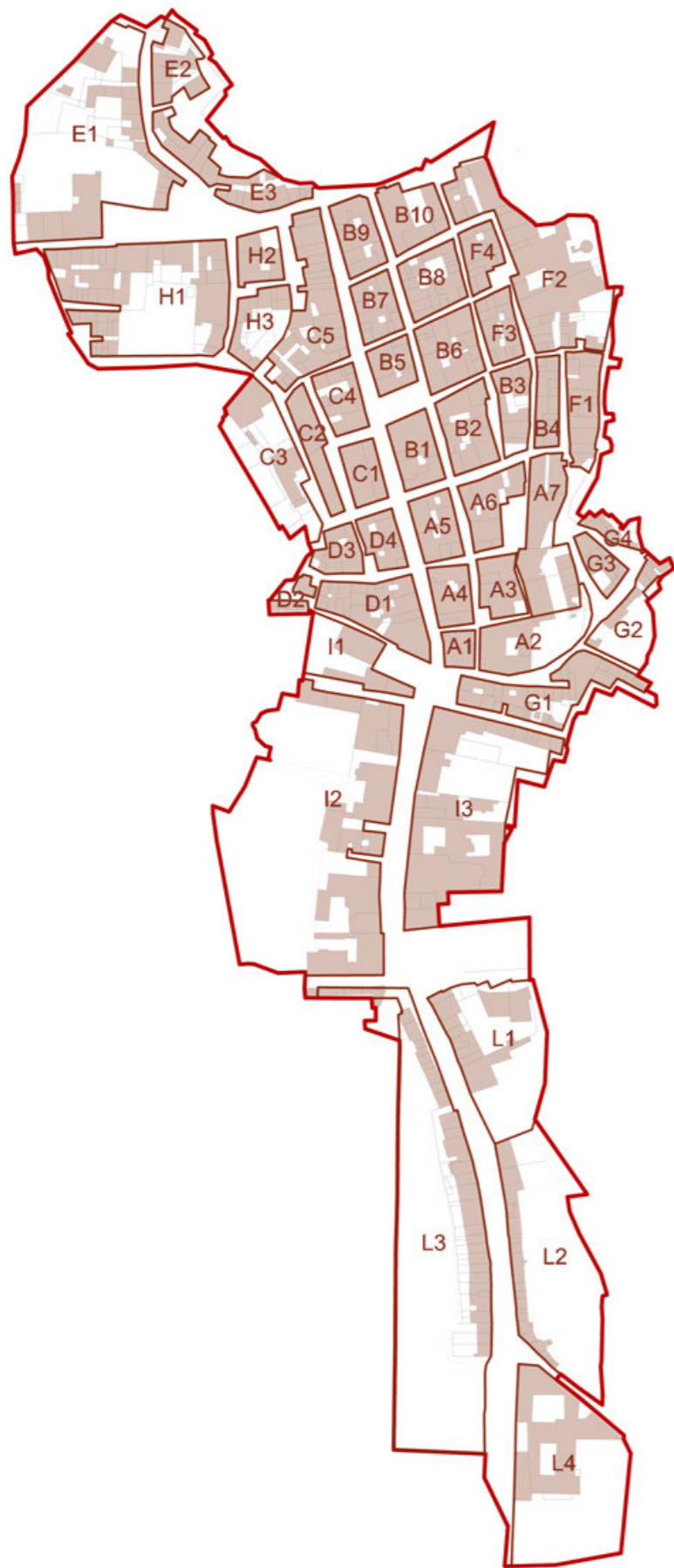
I QUARTIERE SANT' AGOSTINO

L QUARTIERE DEL PIANO



MAPPA DEL FERRI (1751) MAPPA CATASTO GREGORIANO 1818 RILIEVO PERITO SILVIO TARDIOLI 1877 MAPPA CATASTO 1957 MAPPA CATASTO 1967 MAPPA CATASTO 2014 RICOSTRUZIONE BASATA SOLO SU MAPPE CATASTALI RICOSTRUZIONE BASATA SU MAPPA DEL FERRI (1751)

A1								
A2								
A3								
A4								
A5								
A6								
A7								
B1								
B2								
B3								
B4								
B5								
B6								



MAPPA DEL FERRI (1751) MAPPA CATASTO GREGORIANO 1818 RILIEVO PERITO SILVIO TARDIOLI 1877 MAPPA CATASTO 1957 MAPPA CATASTO 1967 MAPPA CATASTO 2014 RICOSTRUZIONE BASATA SOLO SU MAPPE CATASTALI RICOSTRUZIONE BASATA SU MAPPA DEL FERRI (1751)

B7								
B8								
B9								
B10								
C1								
C2								
C3								
C4								
C5								
D1								
D2								
D3								

LEGENDA

— LIMITE CENTRO STORICO

A QUARTIERE SANT' ANDREA

B QUARTIERE SAN MARCO

C QUARTIERE PLATEA MAGNA

D QUARTIERE DEL MONTE

E QUARTIERE DELLE CONCE

F QUARTIERE SAN FRANCESCO

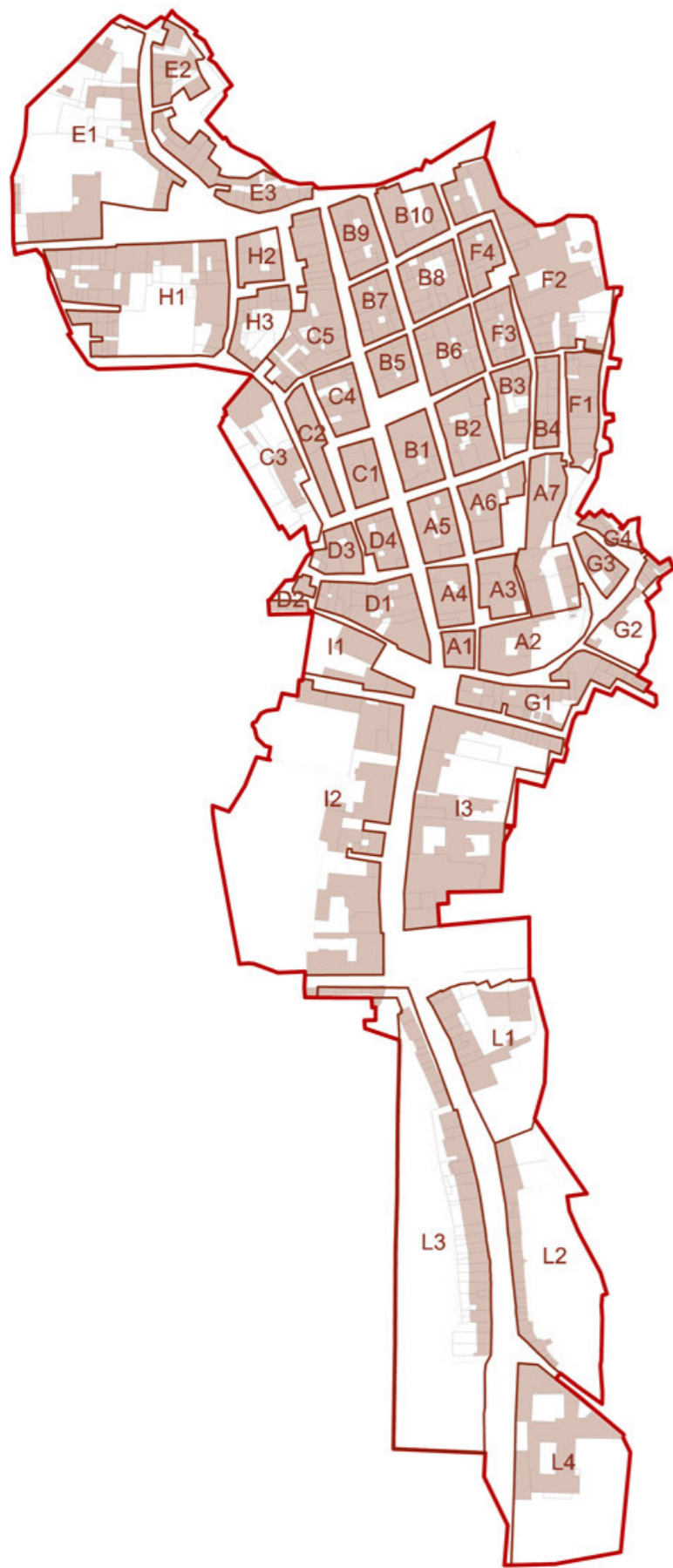
G QUARTIERE DELLE TINTE

H QUARTIERE CAMPETELLO

I QUARTIERE SANT' AGOSTINO

L QUARTIERE DEL PIANO





MAPPA DEL FERRI (1751)

MAPPA CATASTO GREGORIANO 1818

RILIEVO PERITO SILVIO TARDIOLI 1877

MAPPA CATASTO 1957

MAPPA CATASTO 1967

MAPPA CATASTO 2014

RICOSTRUZIONE BASATA SOLO SU MAPPE CATASTALI

RICOSTRUZIONE BASATA SU MAPPA DEL FERRI (1751)

	MAPPA DEL FERRI (1751)	MAPPA CATASTO GREGORIANO 1818	RILIEVO PERITO SILVIO TARDIOLI 1877	MAPPA CATASTO 1957	MAPPA CATASTO 1967	MAPPA CATASTO 2014	RICOSTRUZIONE BASATA SOLO SU MAPPE CATASTALI	RICOSTRUZIONE BASATA SU MAPPA DEL FERRI (1751)
D4								
E1								
E2								
E3								
F1								
F2								
F3								
F4								
G1								
G2								

LEGENDA

— LIMITE CENTRO STORICO

A QUARTIERE SANT' ANDREA

B QUARTIERE SAN MARCO

C QUARTIERE PLATEA MAGNA

D QUARTIERE DEL MONTE

E QUARTIERE DELLE CONCE

F QUARTIERE SAN FRANCESCO

G QUARTIERE DELLE TINTE

H QUARTIERE CAMPETELLO

I QUARTIERE SANT' AGOSTINO

L QUARTIERE DEL PIANO





MAPPA DEL FERRI (1751)

MAPPA CATASTO GREGORIANO 1818

RILIEVO PERITO SILVIO TARDIOLI 1877

MAPPA CATASTO 1957

MAPPA CATASTO 1967

MAPPA CATASTO 2014

RICOSTRUZIONE BASATA SOLO SU MAPPE CATASTALI

RICOSTRUZIONE BASATA SU MAPPA DEL FERRI (1751)

	MAPPA DEL FERRI (1751)	MAPPA CATASTO GREGORIANO 1818	RILIEVO PERITO SILVIO TARDIOLI 1877	MAPPA CATASTO 1957	MAPPA CATASTO 1967	MAPPA CATASTO 2014	RICOSTRUZIONE BASATA SOLO SU MAPPE CATASTALI	RICOSTRUZIONE BASATA SU MAPPA DEL FERRI (1751)
L1								
L2								
L3								
L4								

LEGENDA

— LIMITE CENTRO STORICO

A QUARTIERE SANT' ANDREA

B QUARTIERE SAN MARCO

C QUARTIERE PLATEA MAGNA

D QUARTIERE DEL MONTE

E QUARTIERE DELLE CONCE

F QUARTIERE SAN FRANCESCO

G QUARTIERE DELLE TINTE

H QUARTIERE CAMPETELLO

I QUARTIERE SANT' AGOSTINO

L QUARTIERE DEL PIANO





VARIANTI SINCRONICHE

VARIANTI DIACRONICHE



LEGENDA

UNITA' DI MISURA MEDIEVALI EUGUBINE : 1 canna = 2,943 m 1 braccio = 0,981 m 1 piede = 0,327 m

- TIPOLOGIA A1
- TIPOLOGIA A3
- TIPOLOGIA D1
- TIPOLOGIA D3
- TIPOLOGIA A2
- TIPOLOGIA A4
- TIPOLOGIA D2





LEGENDA

- | | | | | | |
|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| LIMITE CENTRO STORICO | B QUARTIERE SAN MARCO | D QUARTIERE DEL MONTE | F QUARTIERE SAN FRANCESCO | H QUARTIERE CAMPETELLO | L QUARTIERE DEL PIANO |
| A QUARTIERE SANT' ANDREA | C QUARTIERE PLATEA MAGNA | E QUARTIERE DELLE CONCE | G QUARTIERE DELLE TINTE | I QUARTIERE SANT' AGOSTINO | AGGREGATI OGGETTO DI STUDIO |





Via Camillo Benso Conte di Cavour

Via Gianni

PIANO TERRA

Via Goffredo Mameli



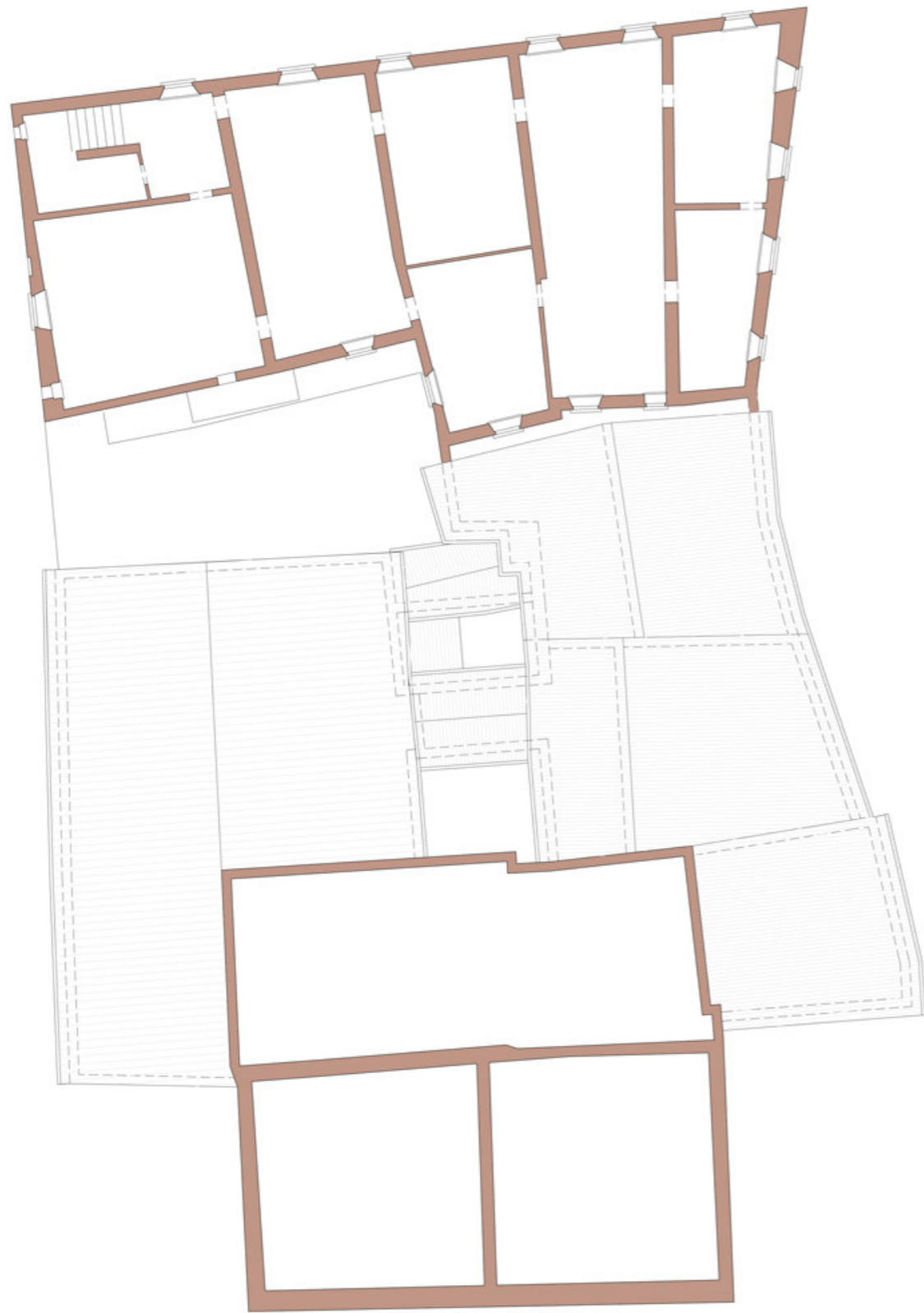


PIANO PRIMO

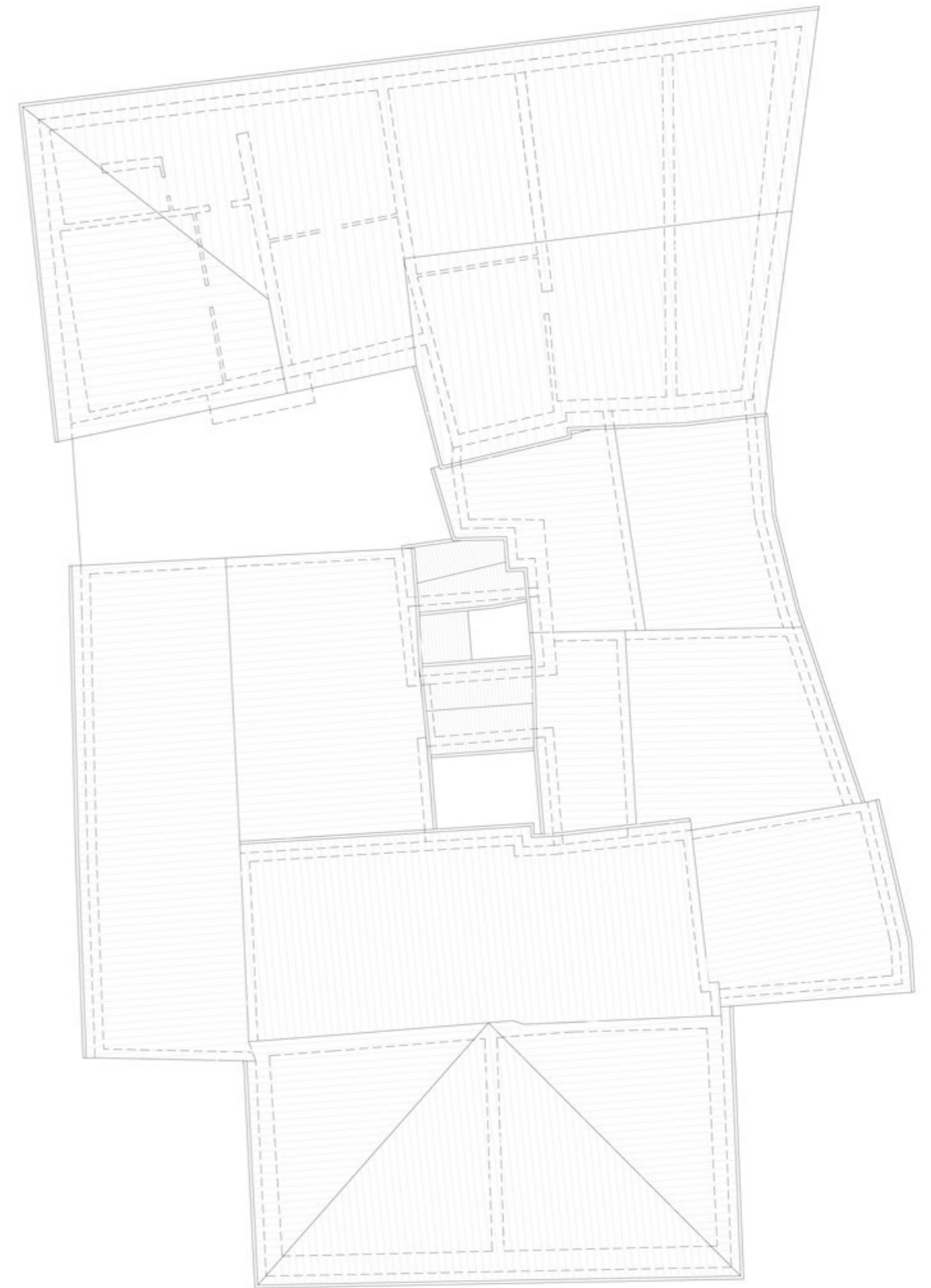


PIANO SECONDO





PIANO TERZO



COPERTURA





PROSPETTO SUD



PROSPETTO EST

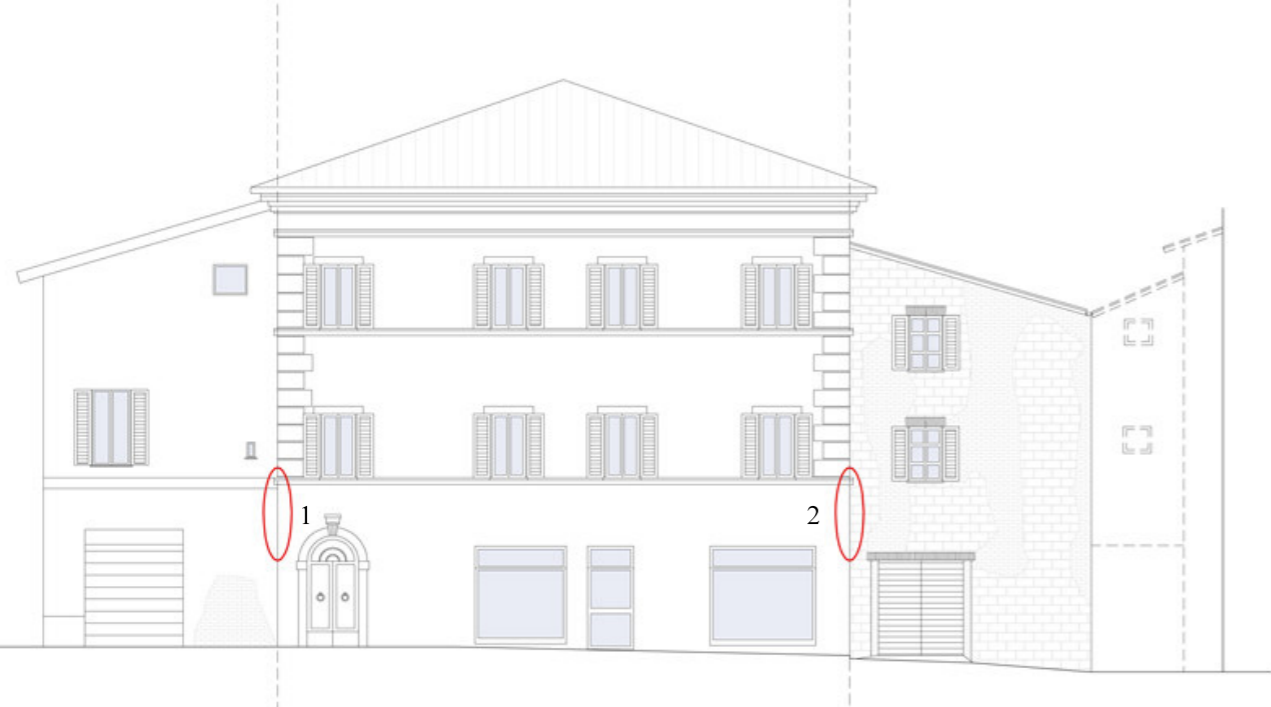


PROSPETTO NORD



PROSPETTO OVEST





PROSPETTO SUD



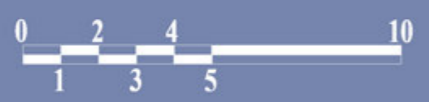
PROSPETTO EST

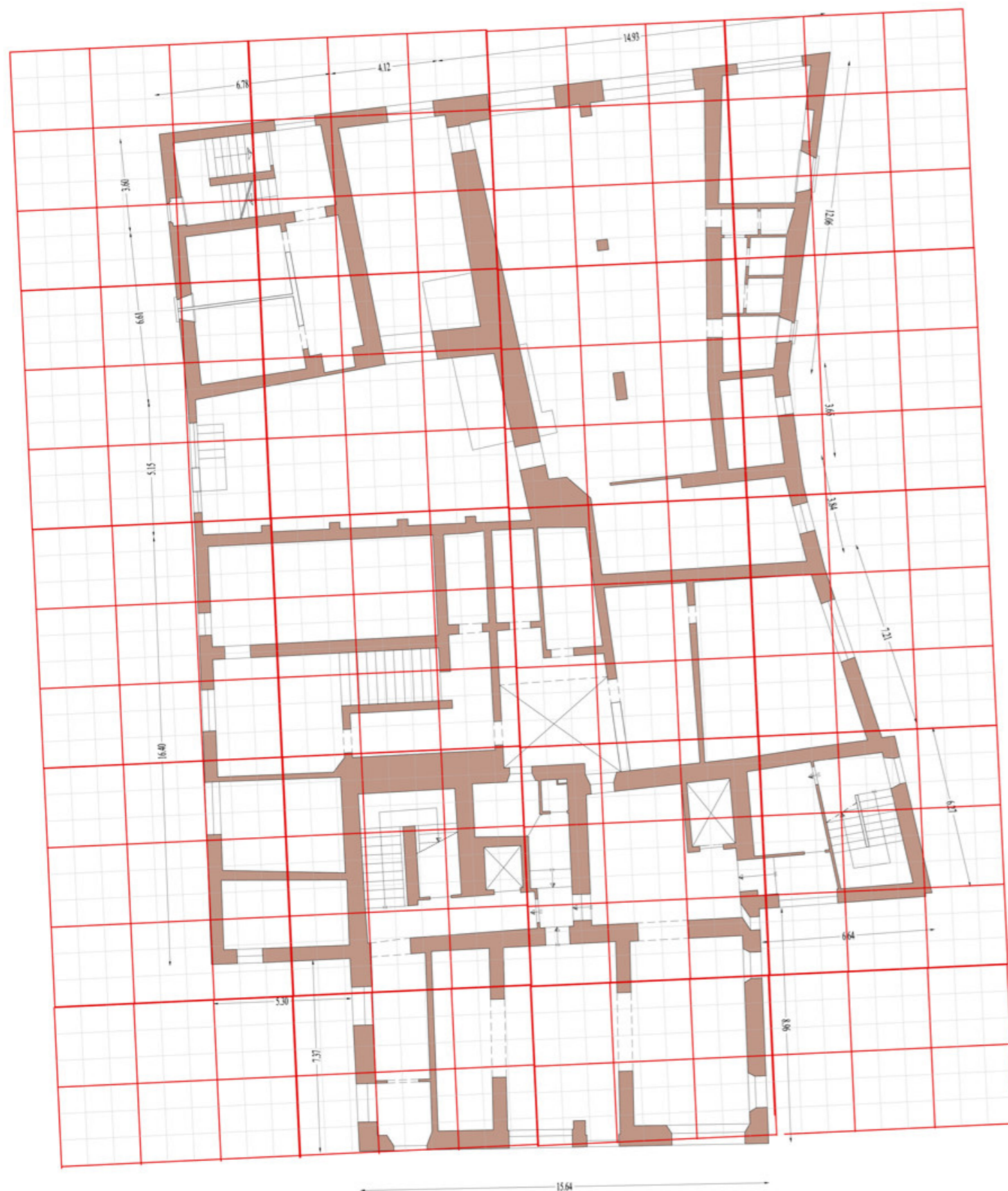


PROSPETTO NORD



PROSPETTO OVEST





METROLOGIA



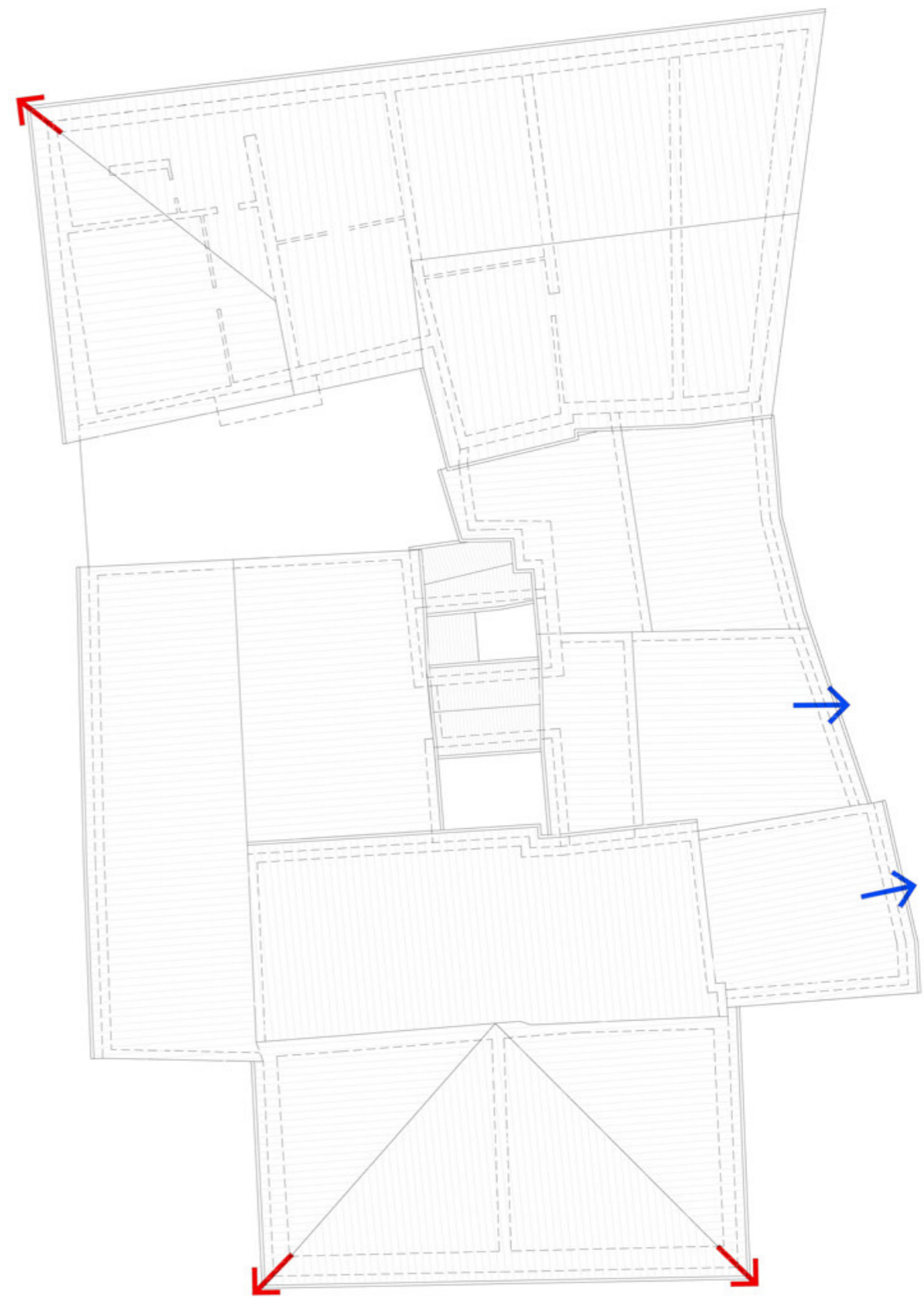
1x1 canna eugubina (2,943 m)



FASI EVOLUTIVE

- FASE 1 (celle elementari di profondit  tra circa 6 e 8 metri)
- FASE 2 (I rifusione)
- FASE 3 (ampliamento cellule elementari)
- FASE 4 (completamento, intasamento)
- FASE 5 (II rifusione)





LEGENDA

- DISCONNESSIONI MURARIE
- DISCONNESSIONI MURARIE ESTERNE NON CONSIDERATE AI FINI DEL CALCOLO DELLE DISCONNESSIONI EFFETTIVE
- FACCIATE RIFUSE
- ROMPIRATTA SPINGENTI
- DIAGONALI SPINGENTI





PIANO PRIMO



PIANO SECONDO

LEGENDA



MURI IN FALSO

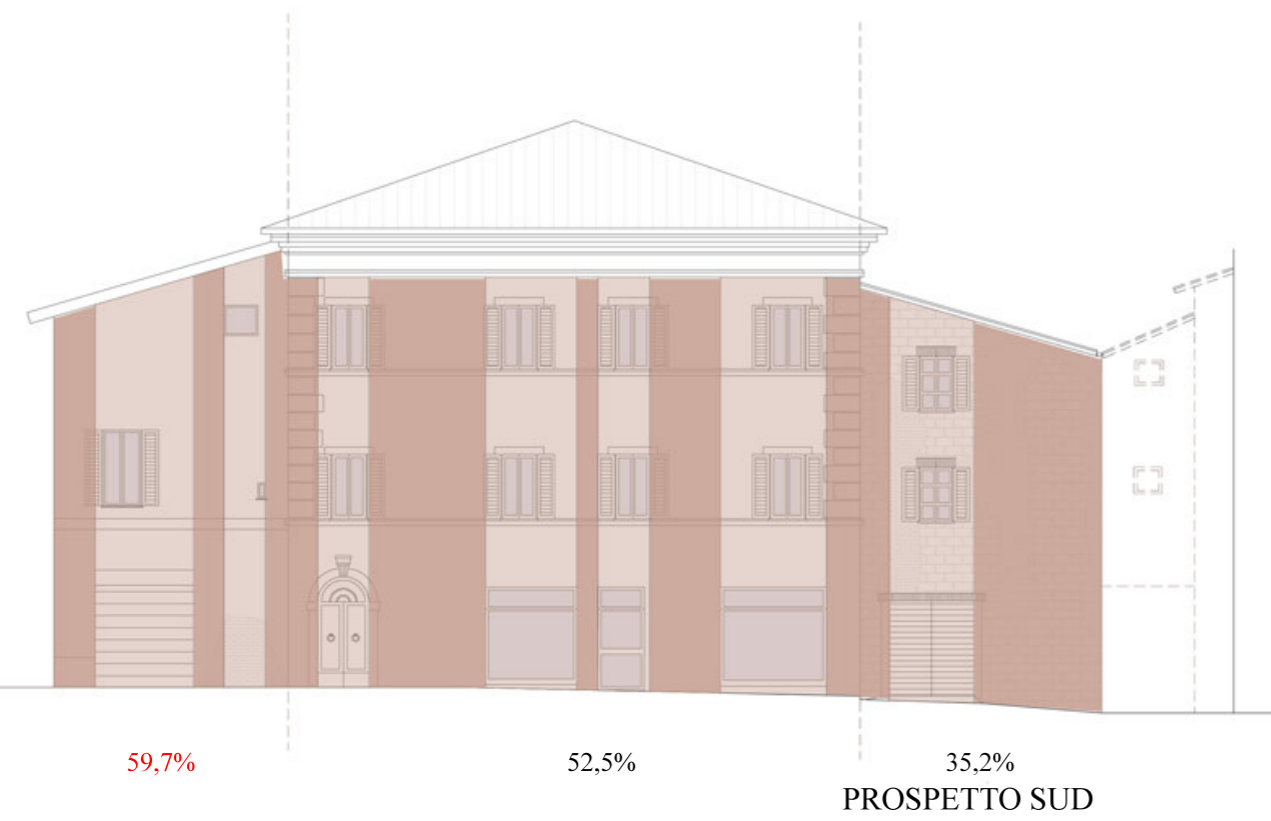


AREA VULNERABILE



TRAMEZZI IN FALSO NON RILEVANTI
AI FINI DEL CALCOLO DELLA VULNERABILITA'





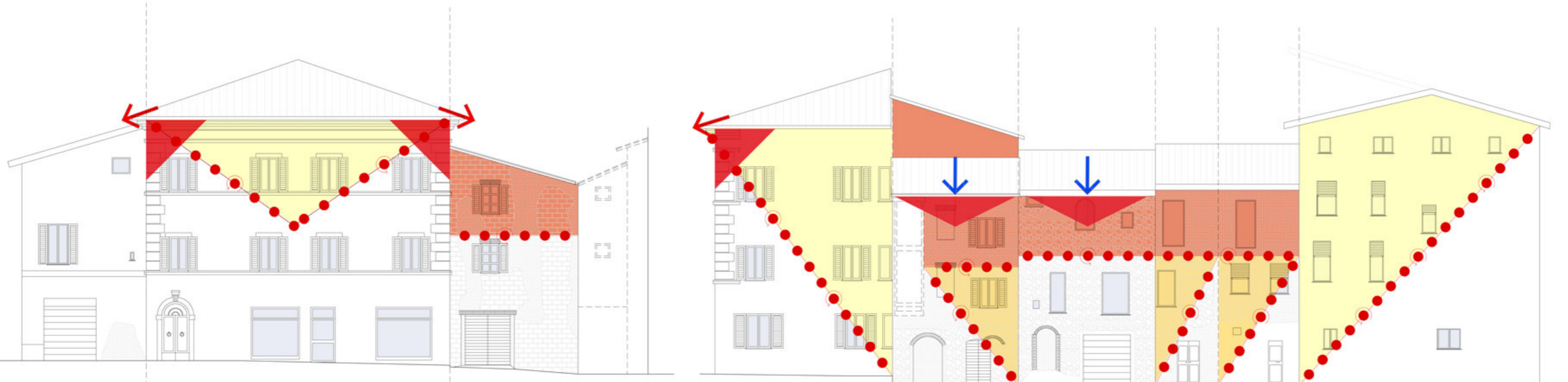
LEGENDA

 MASCHI MURARI CONTINUI

 FASCE VULNERABILI

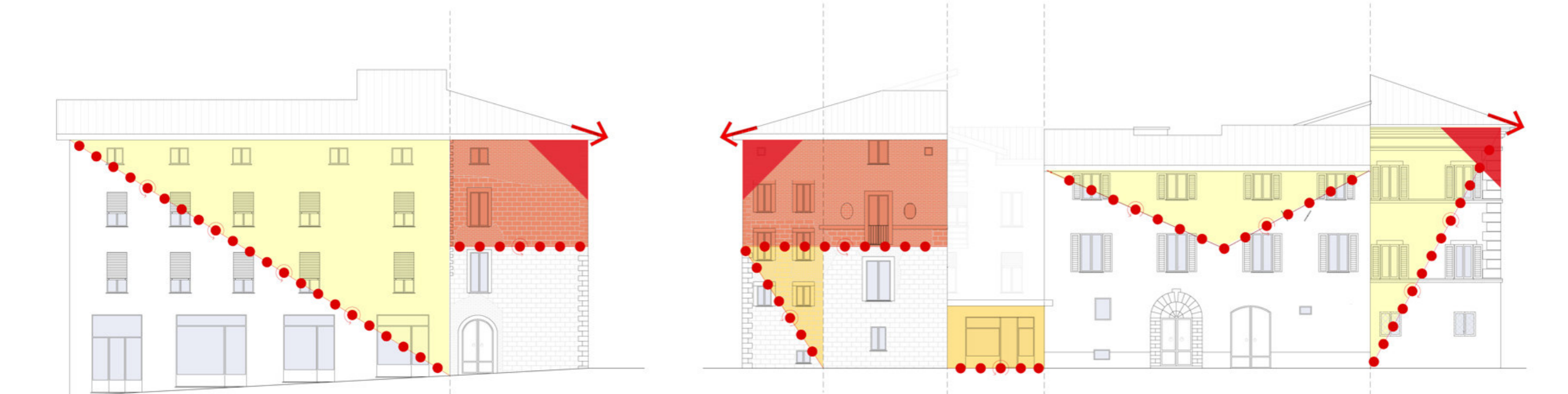
 DISCONNESSIONI IN FACCIATA





PROSPETTO SUD

PROSPETTO EST



PROSPETTO NORD

PROSPETTO OVEST

LEGENDA

- FACCIATE RIFUSE
- FACCIATE DI COMPLETAMENTO
- SOPRAELEVAZIONI
- DIAGONALI SPINGENTI
- DISCONNESSIONI IN FACCIATA
- CERNIERA DI RIBALTAMENTO
- RIBALTAMENTO PER ROMPIRATTA SPINGENTE
- RIBALTAMENTO CANTONALE
- ROMPIRATTA SPINGENTI





PROSPETTO SUD



PROSPETTO EST



PROSPETTO NORD



PROSPETTO OVEST

LEGENDA

— PROIEZIONE SOLAIO

■ SOLAI SFALSATI





Via Goffredo Mameli

Via XX Settembre

PIANO TERRA



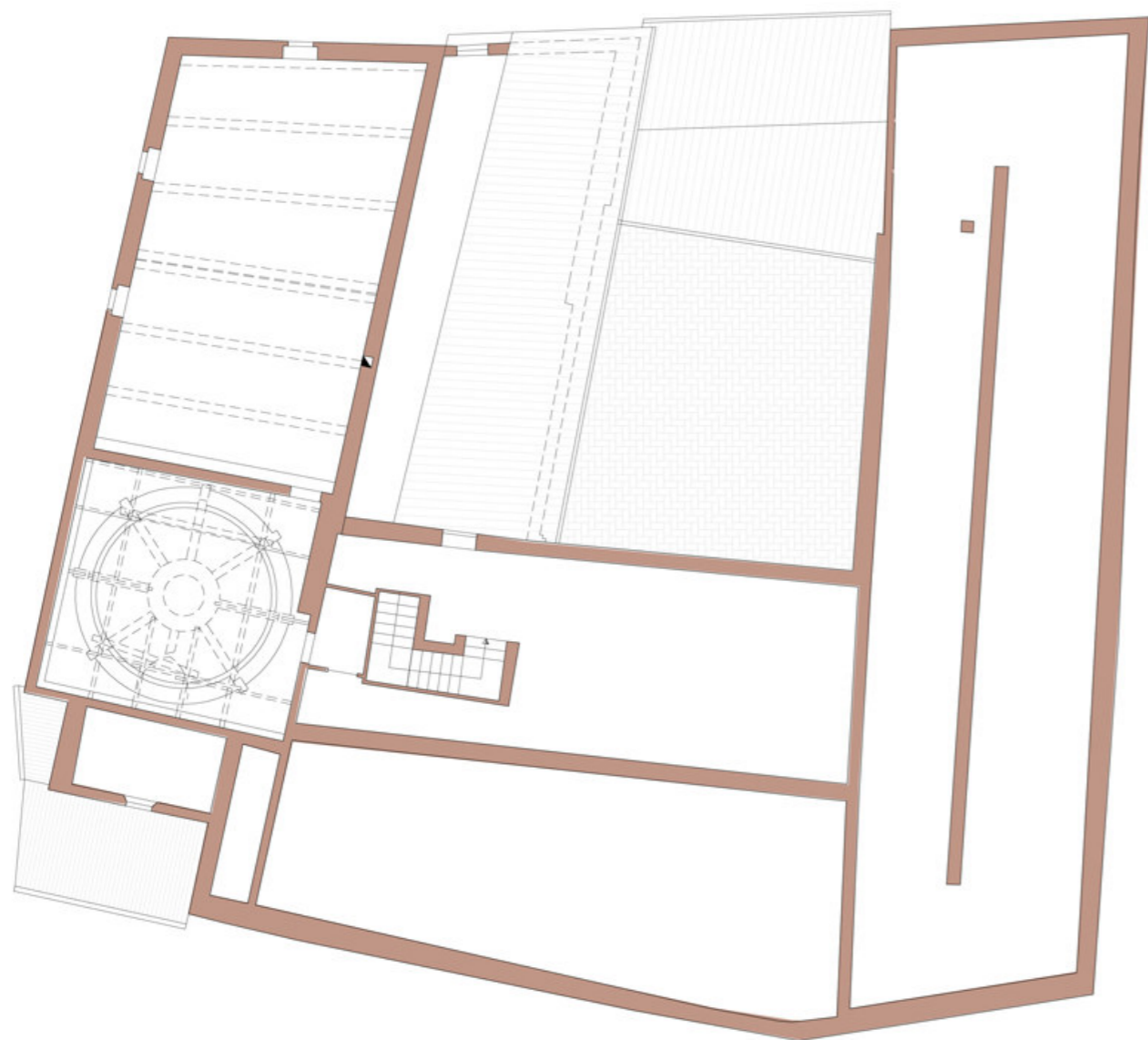


PIANO PRIMO

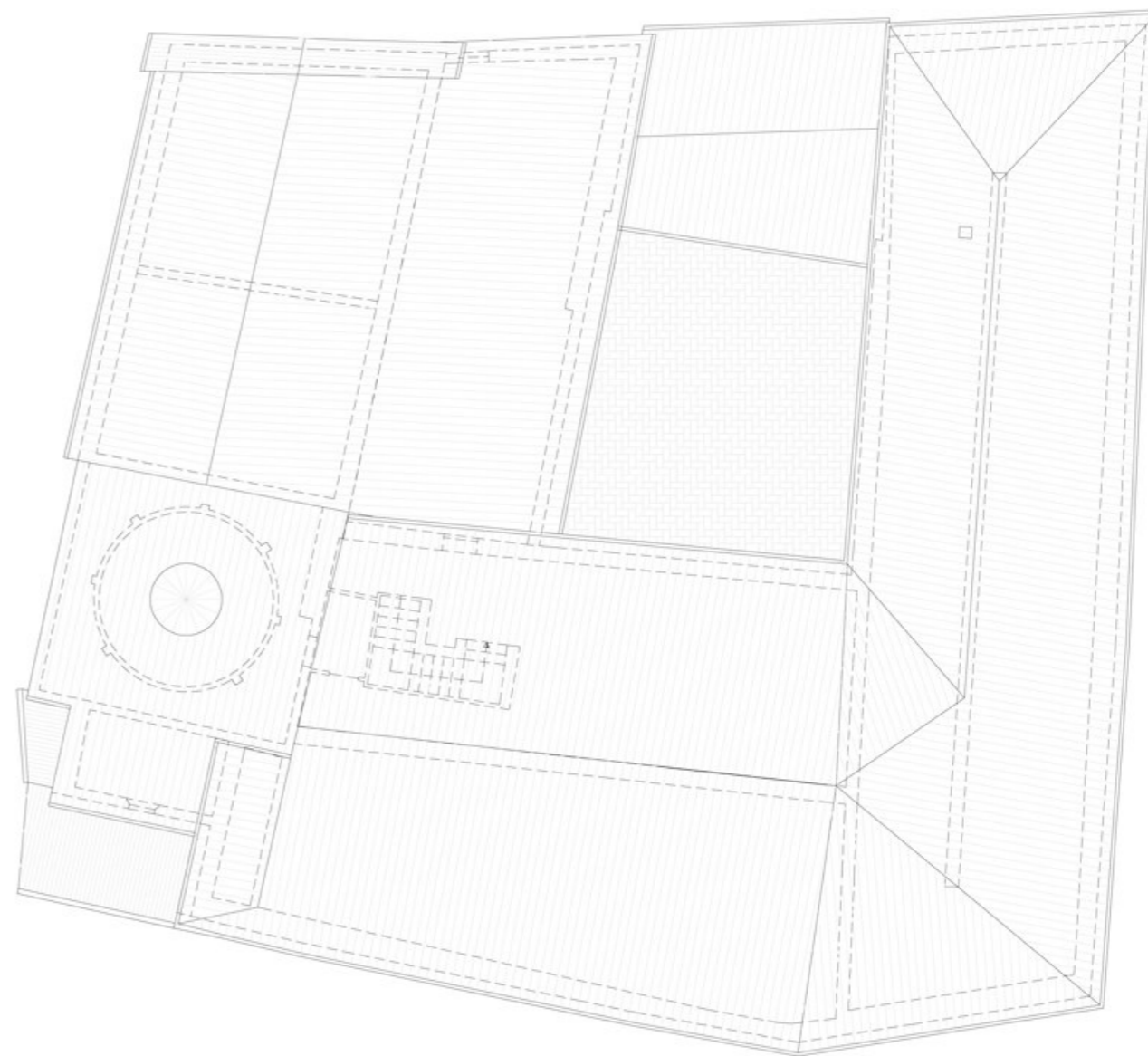


PIANO SECONDO



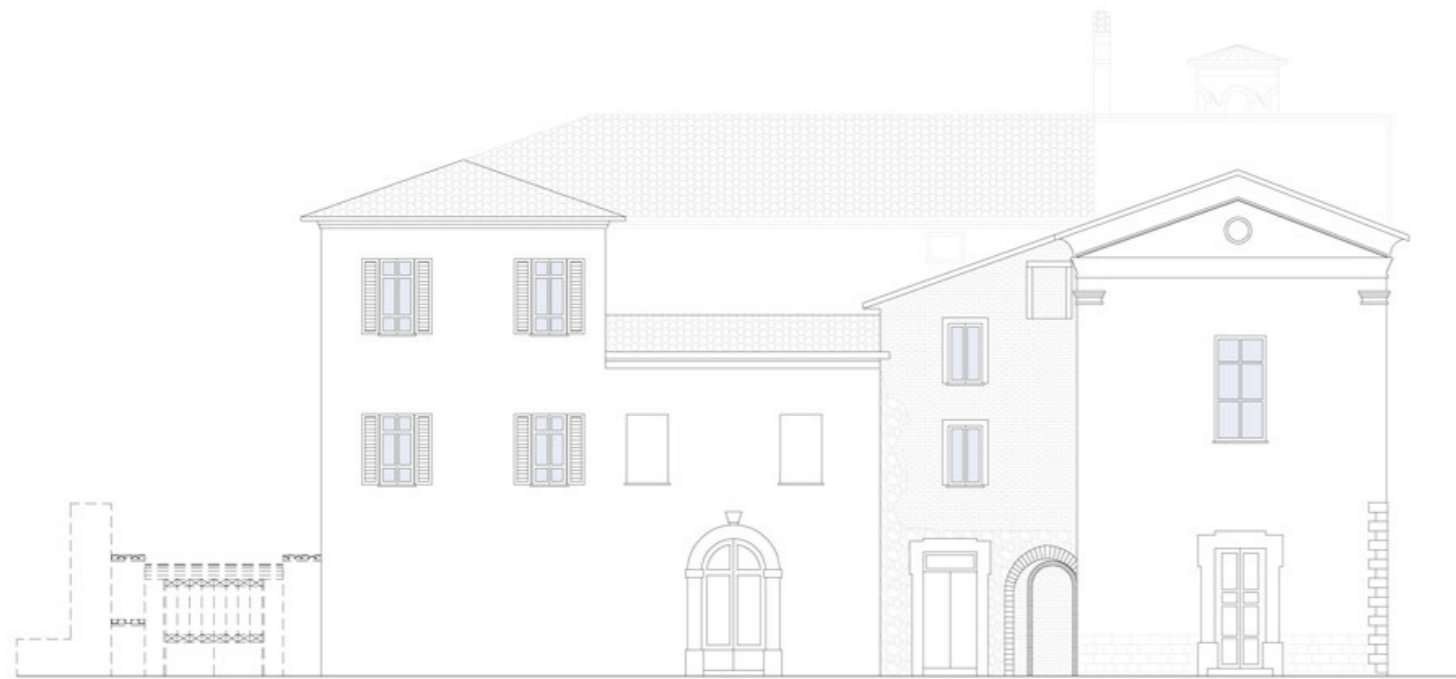


PIANO TERZO

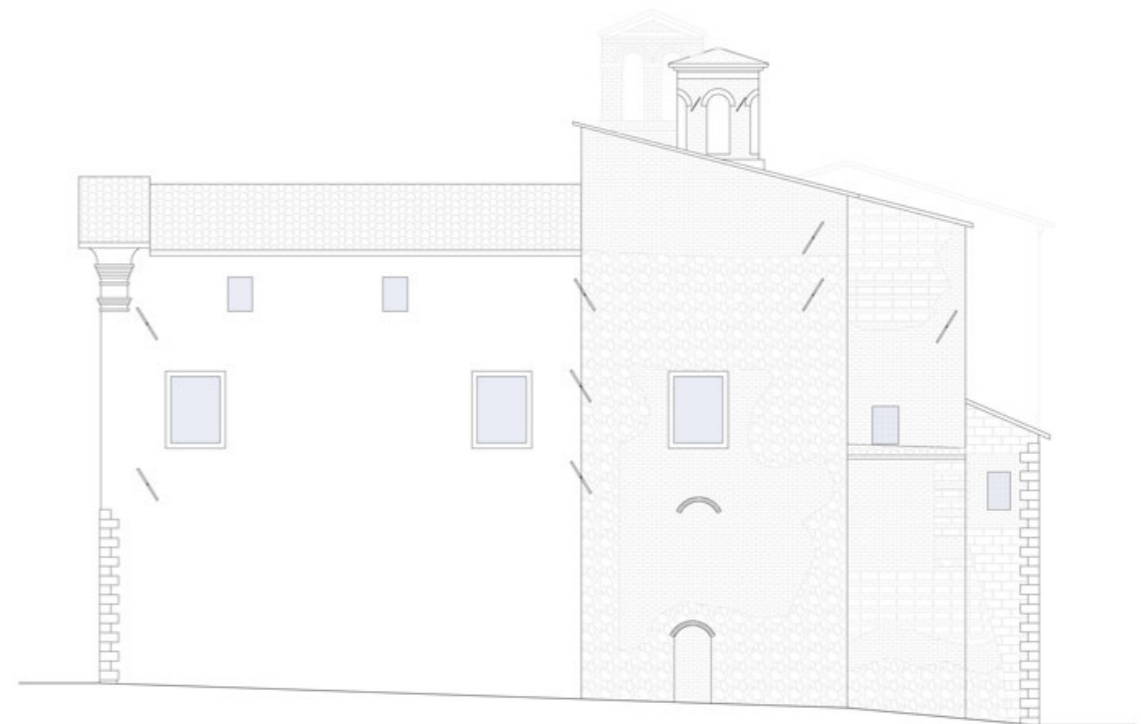


COPERTURA

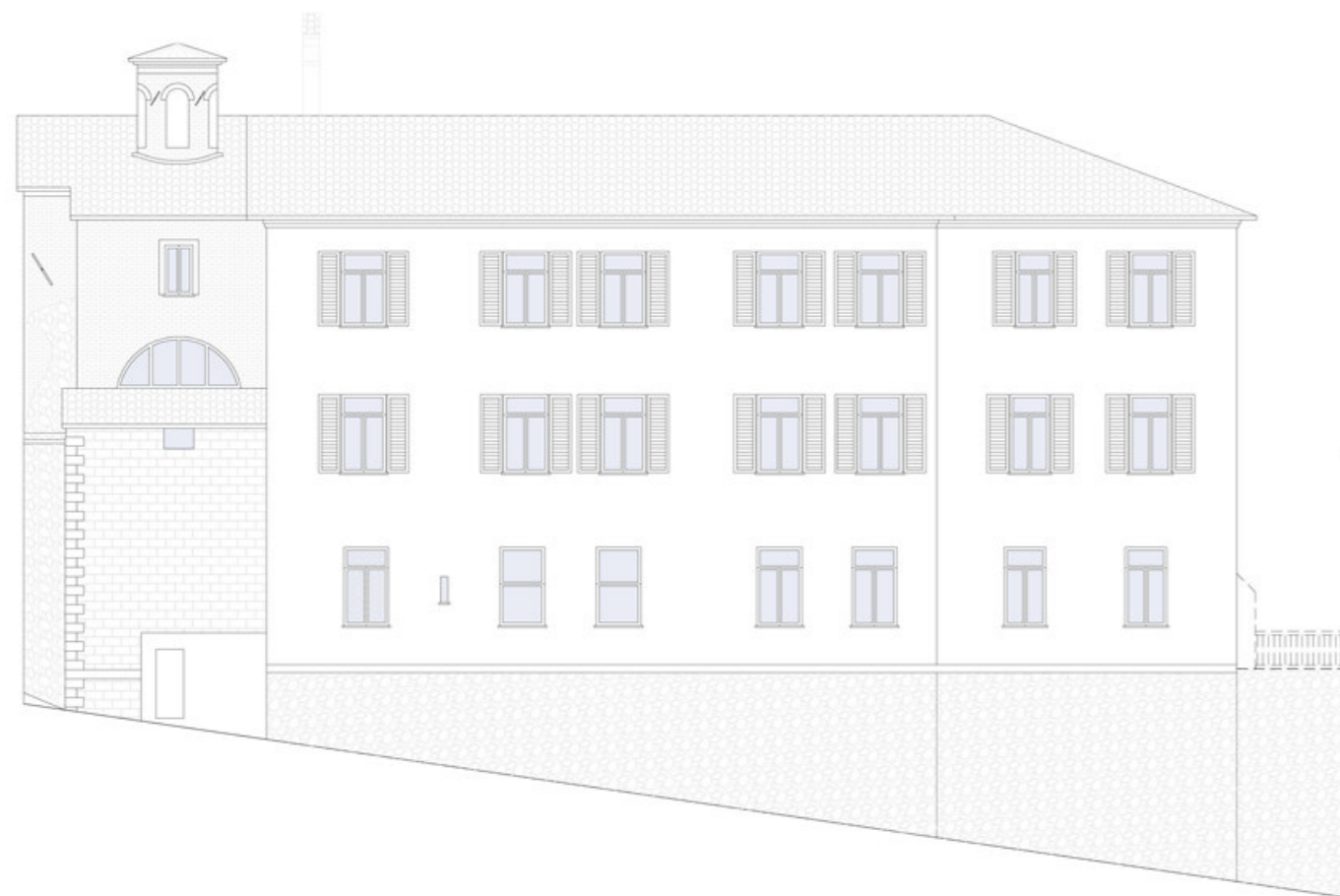




PROSPETTO NORD



PROSPETTO OVEST

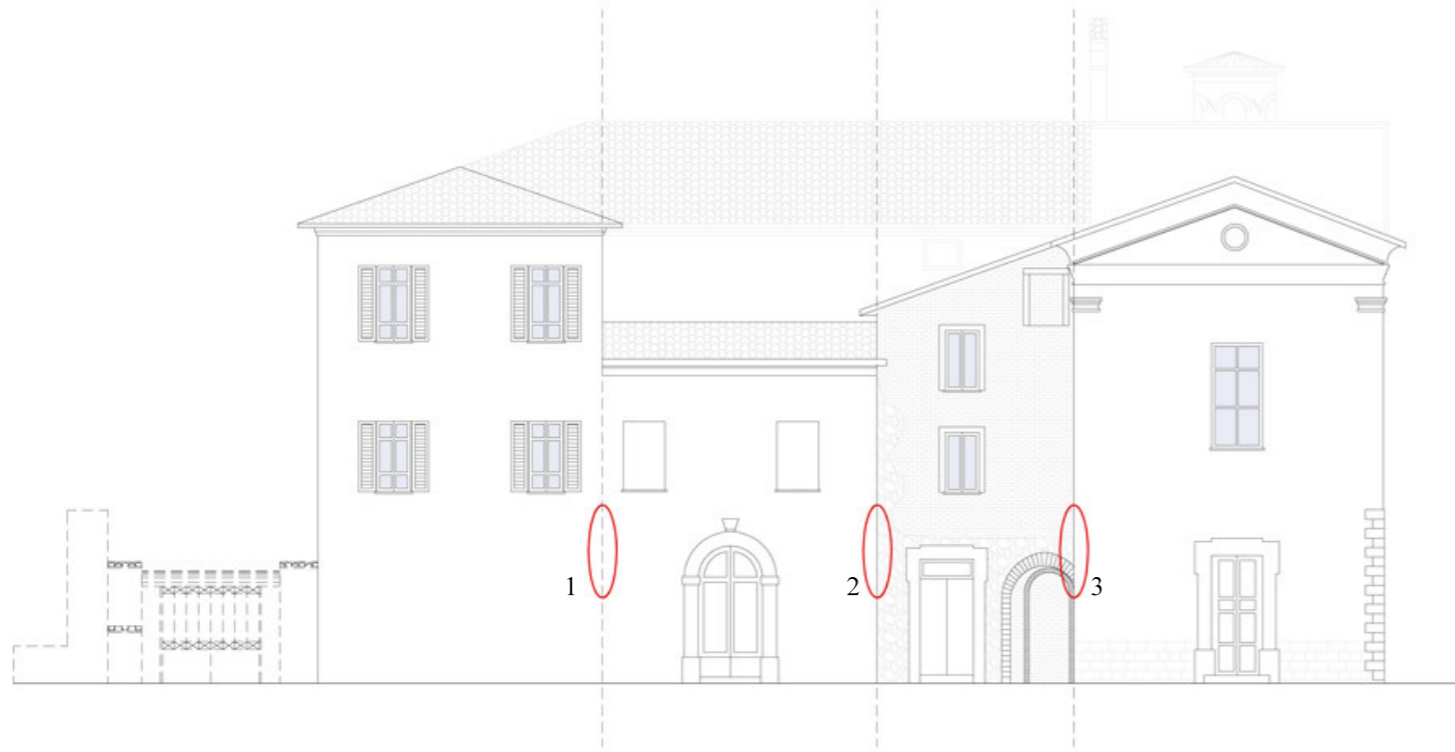


PROSPETTO SUD

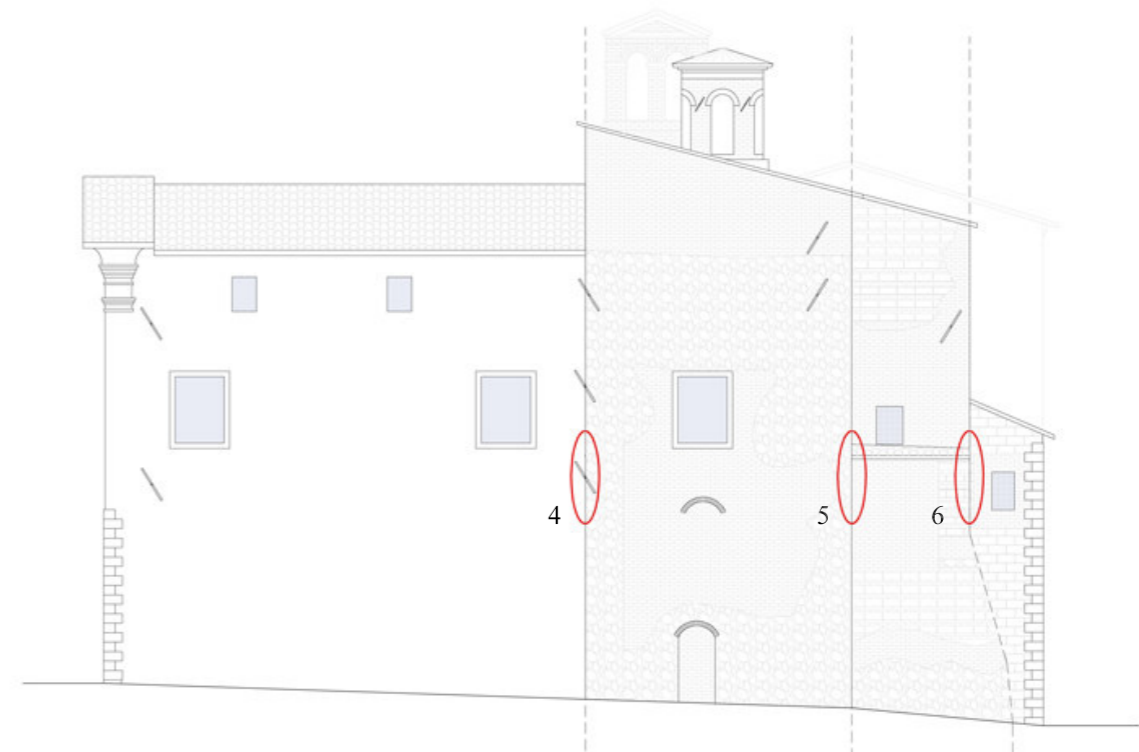


PROSPETTO EST

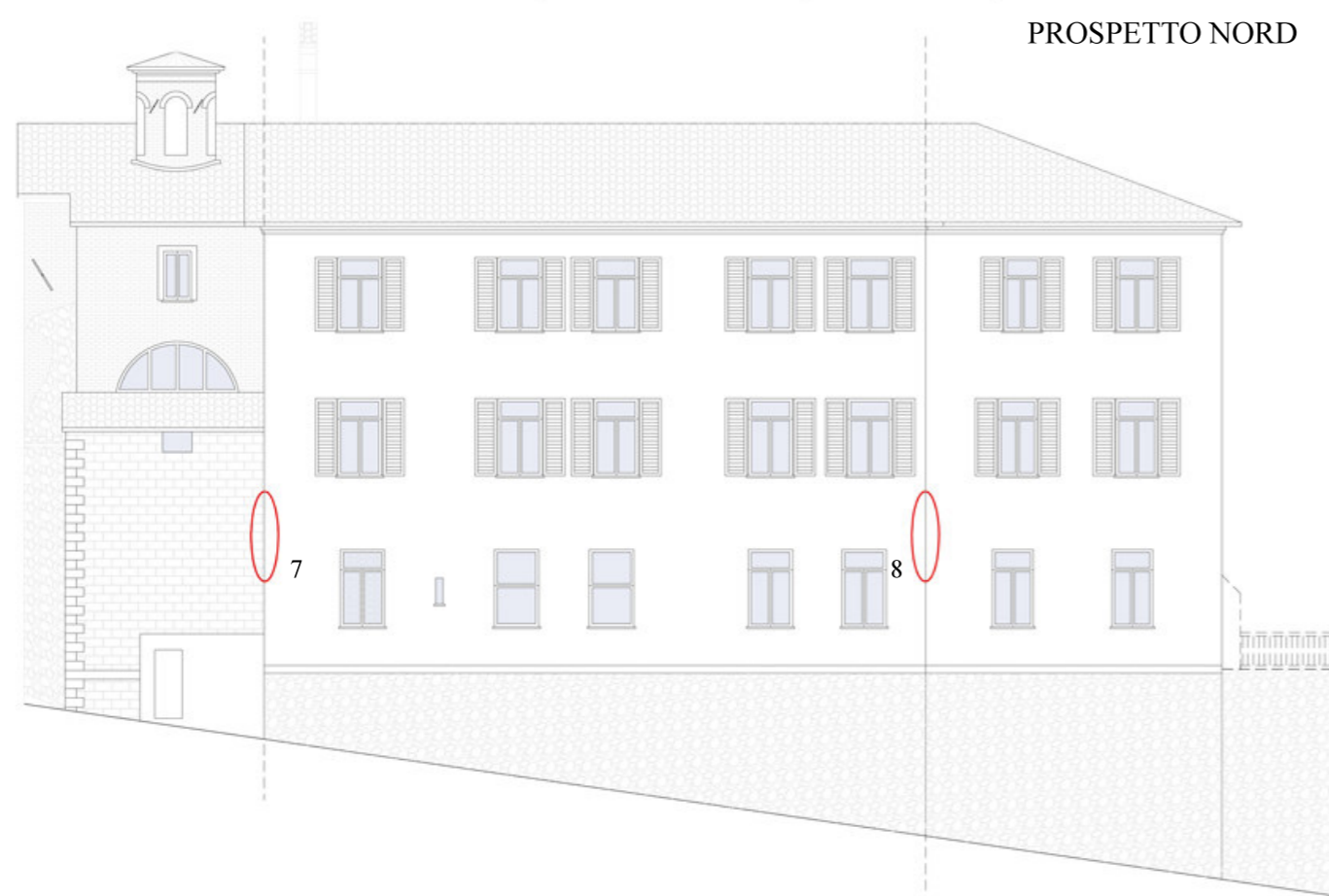




PROSPETTO NORD



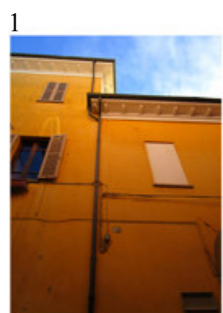
PROSPETTO OVEST

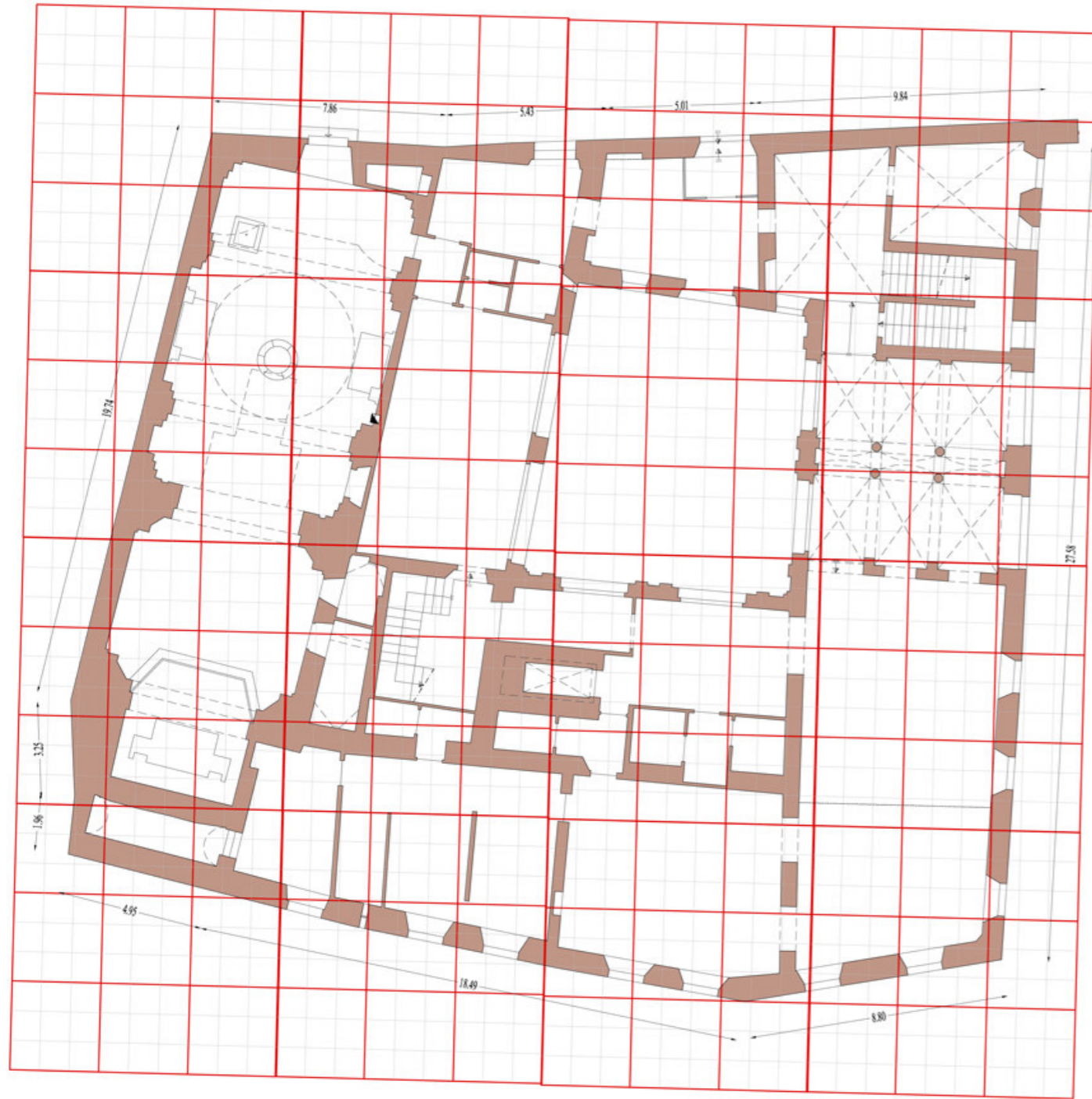


PROSPETTO SUD



PROSPETTO EST





METROLOGIA



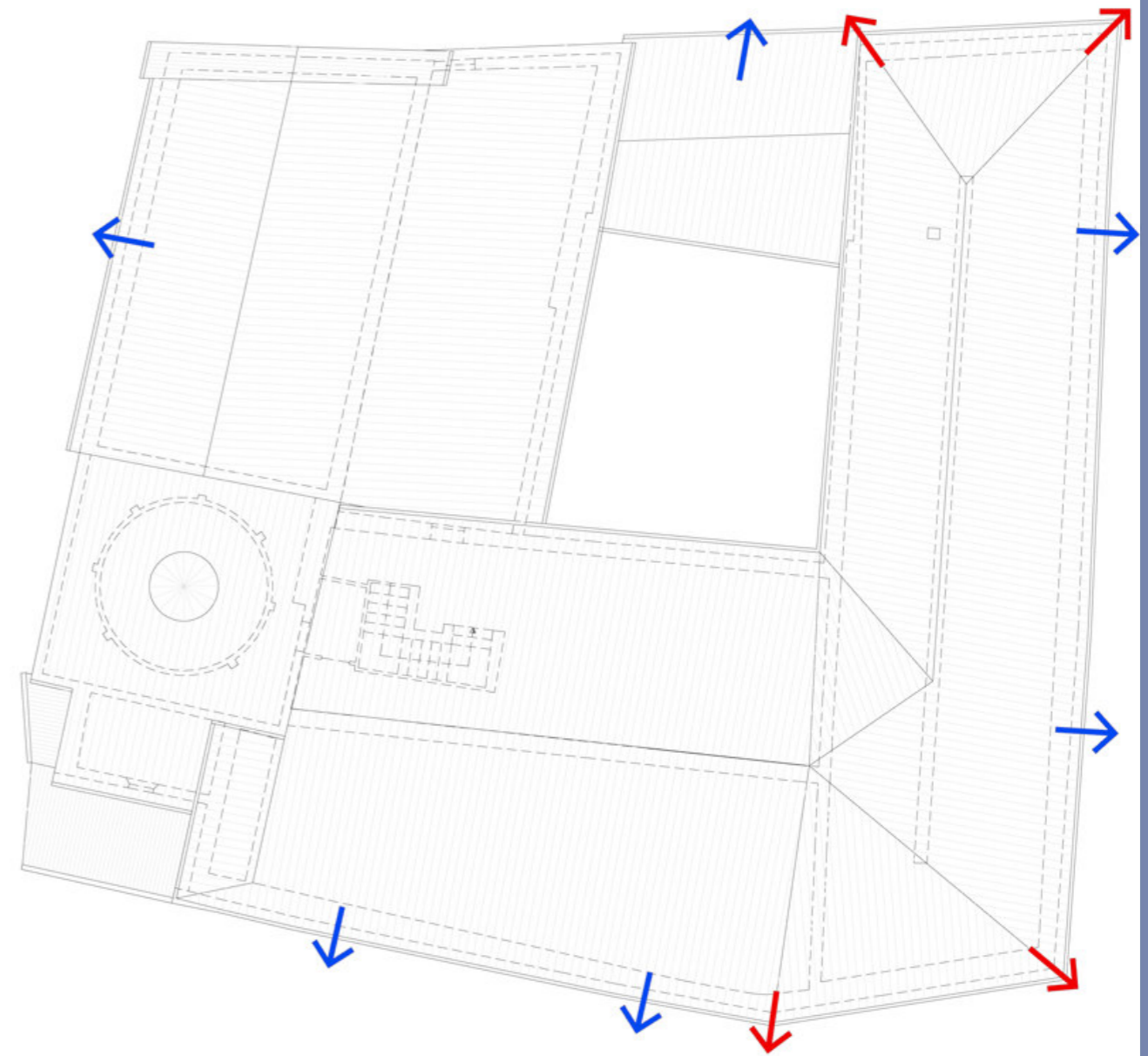
1x1 canna eugubina (2,943 m)



FASI EVOLUTIVE

- FASE 1 (XIII secolo)
- FASE 2 (XV secolo)
- FASE 3 (XVI secolo)
- FASE 4 (XVII secolo)
- FASE 5 (XX secolo)





LEGENDA



DISCONNESSIONI MURARIE



FACCIAE RIFUSE



ROMPITRATTA/COPERTURE SPINGENTI



DIAGONALI SPINGENTI

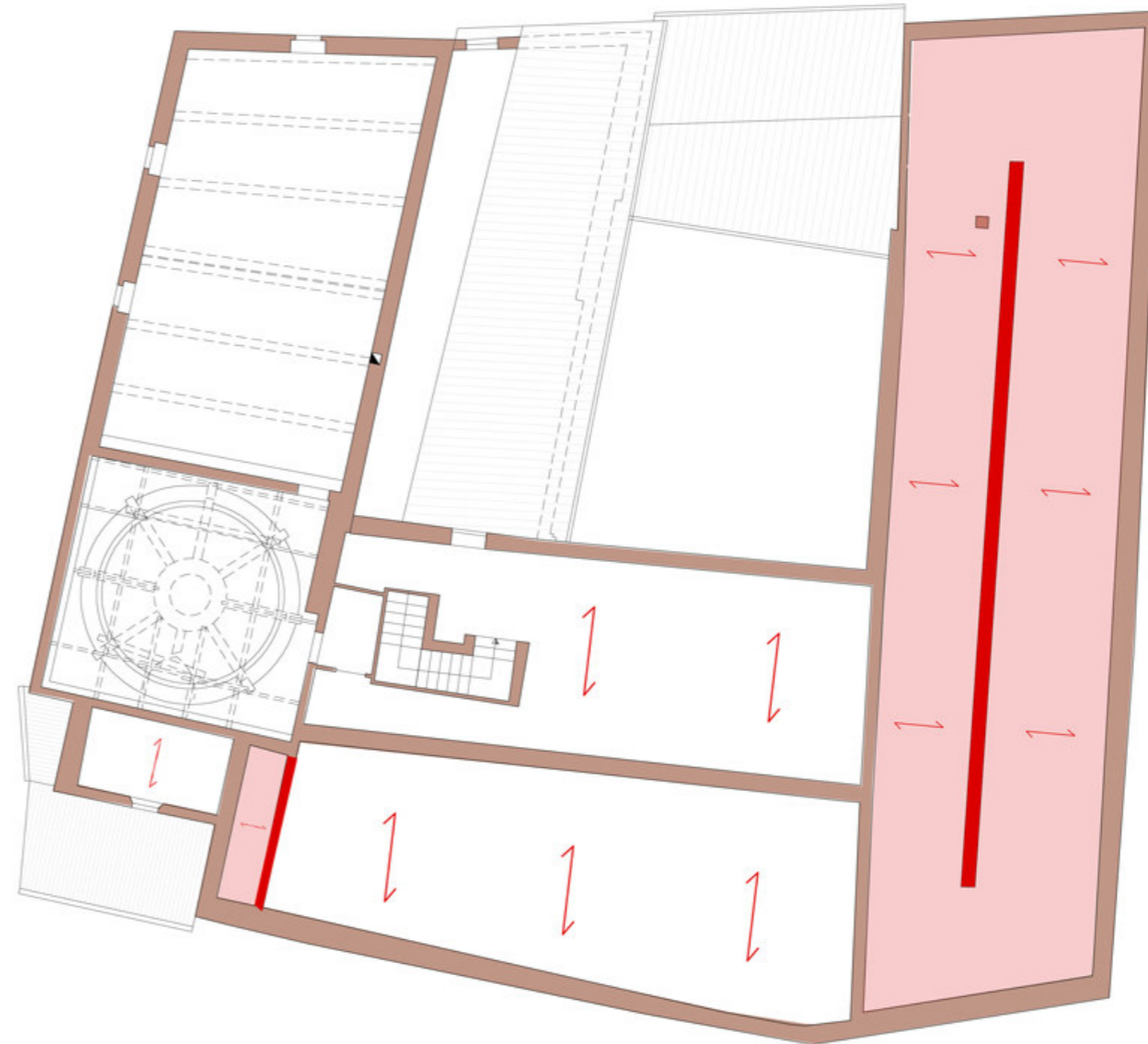


DISCONNESSIONI MURARIE ESTERNE NON CONSIDERATE AI FINI DEL CALCOLO DELLE DISCONNESSIONI EFFETTIVE





PIANO PRIMO



PIANO TERZO

LEGENDA



MURI IN FALSO

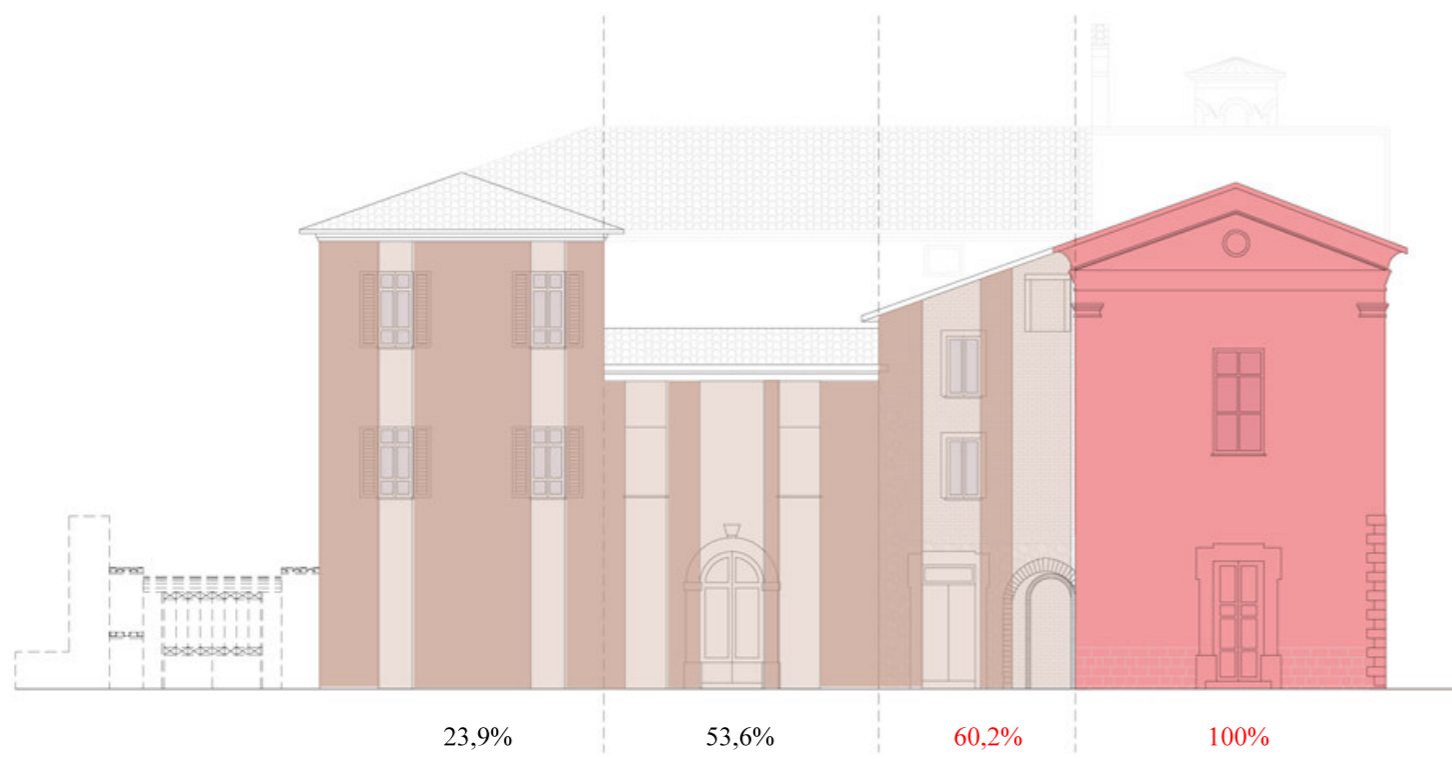


AREA VULNERABILE

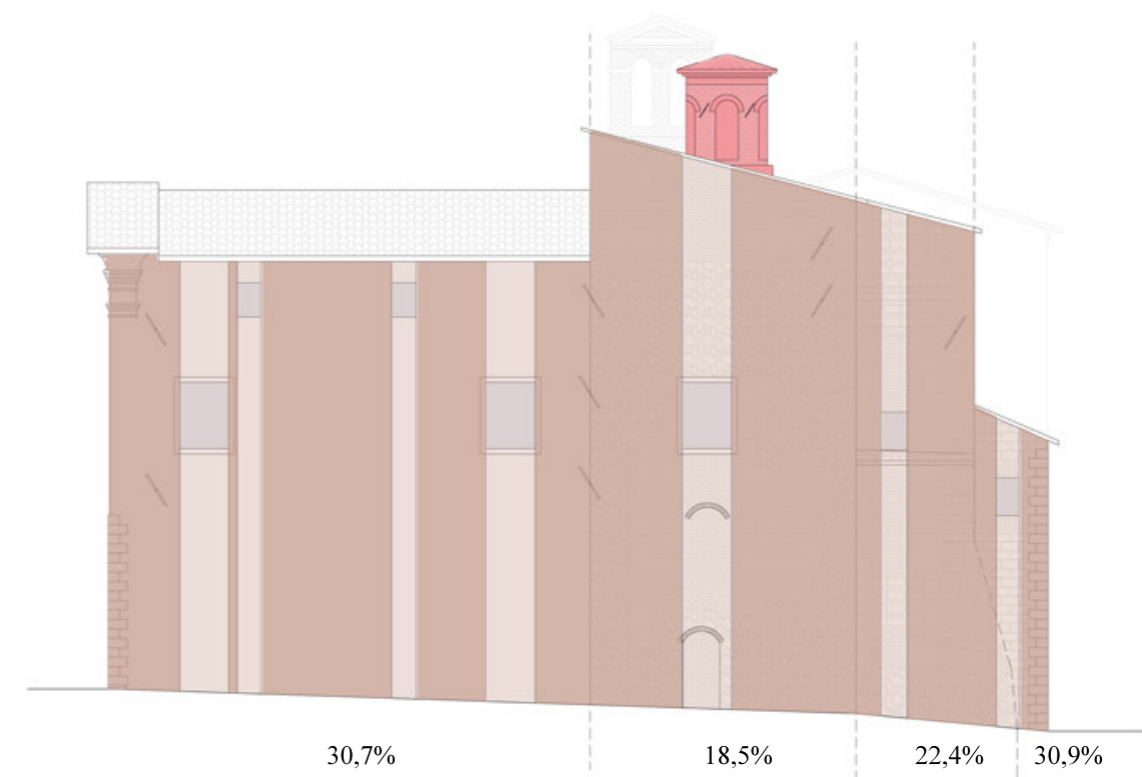


TRAMEZZI IN FALSO NON RILEVANTI
AI FINI DEL CALCOLO DELLA VULNERABILITA'

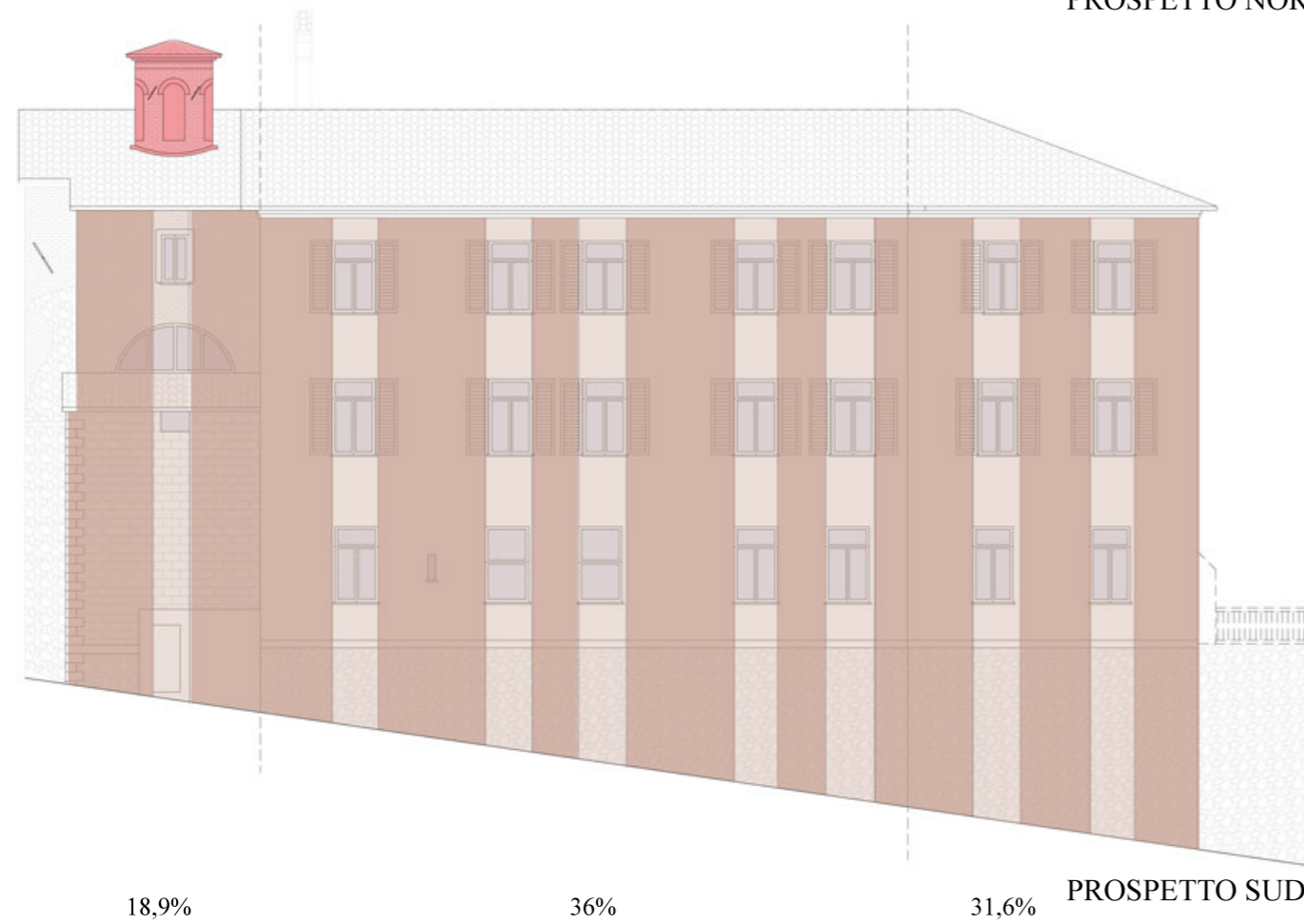




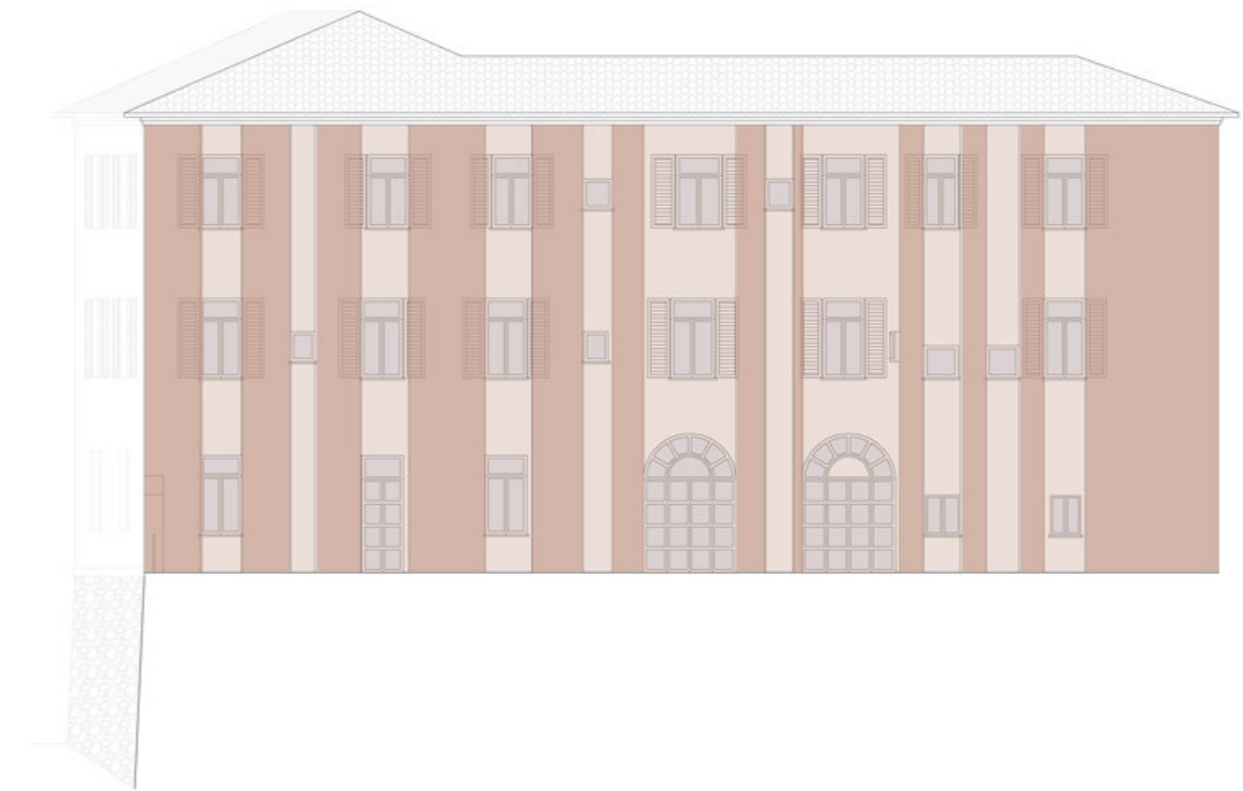
PROSPETTO NORD



PROSPETTO OVEST



PROSPETTO SUD

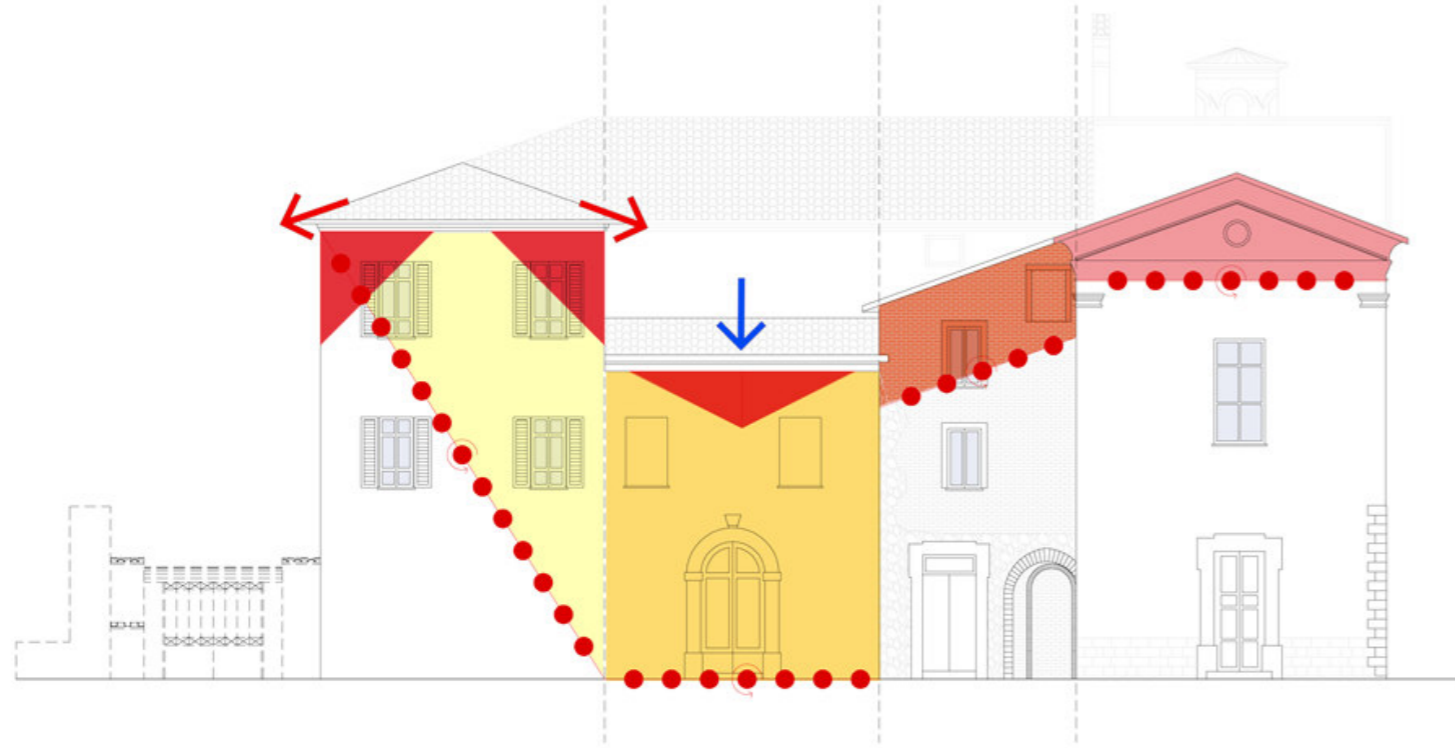


PROSPETTO EST

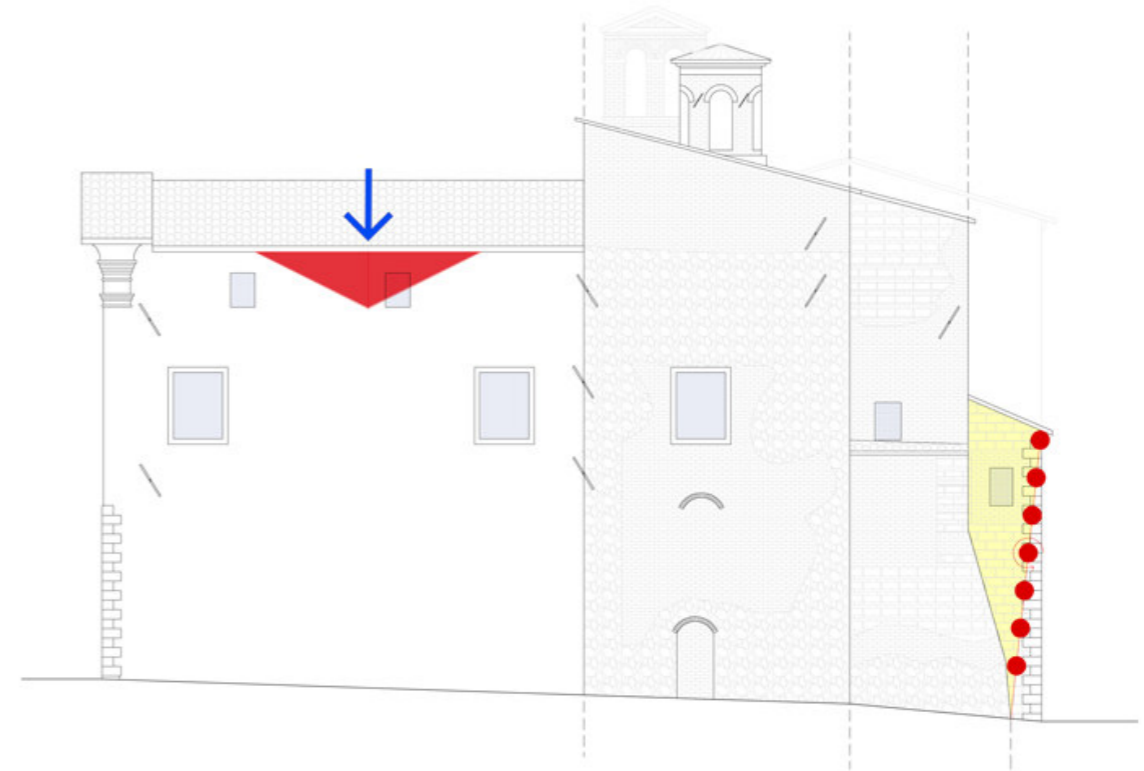
LEGENDA

- MASCHI MURARI CONTINUI
- FASCE VULNERABILI
- VULNERABILITA' TIPICA DI EDIFICIO CHIESASTICO
- DISCONNESSIONI IN FACCIATA

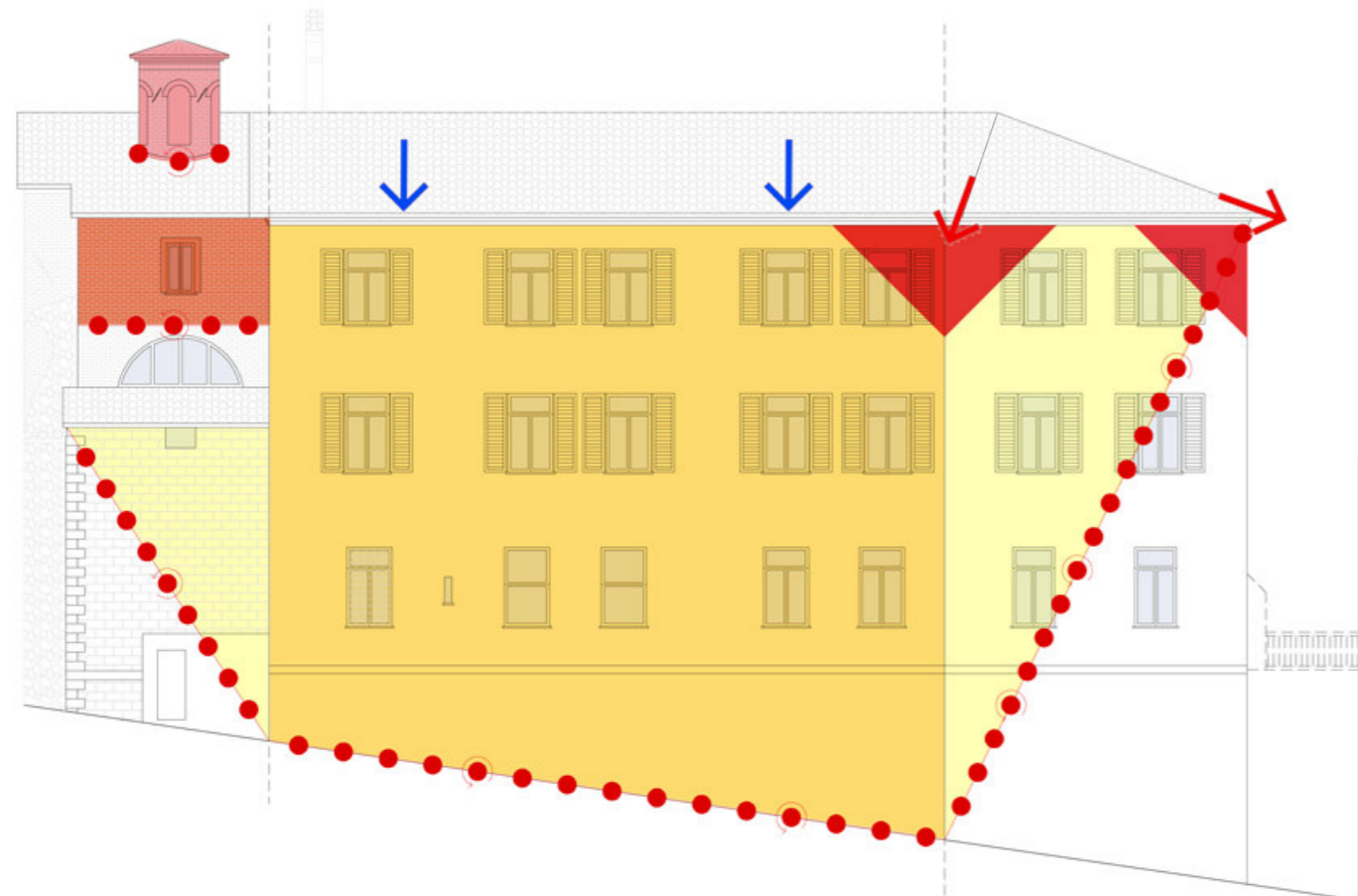




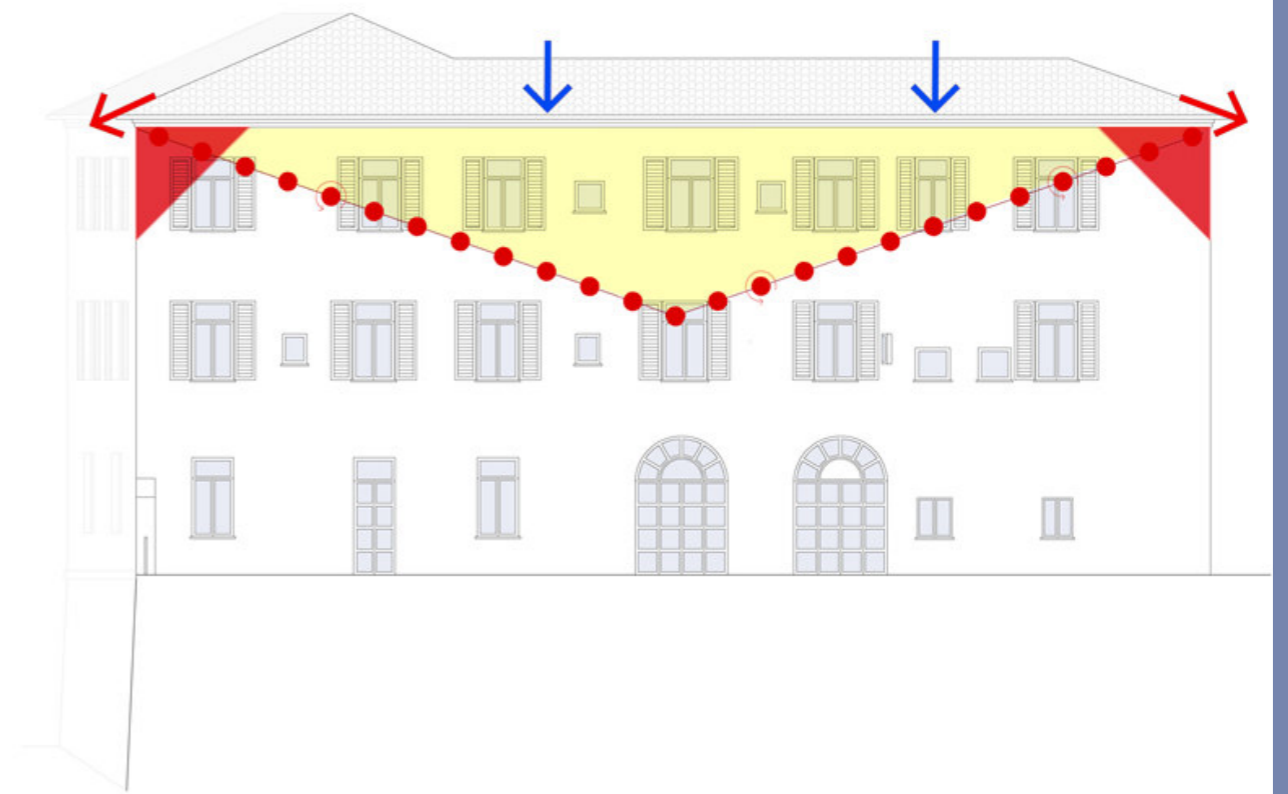
PROSPETTO NORD



PROSPETTO OVEST



PROSPETTO SUD

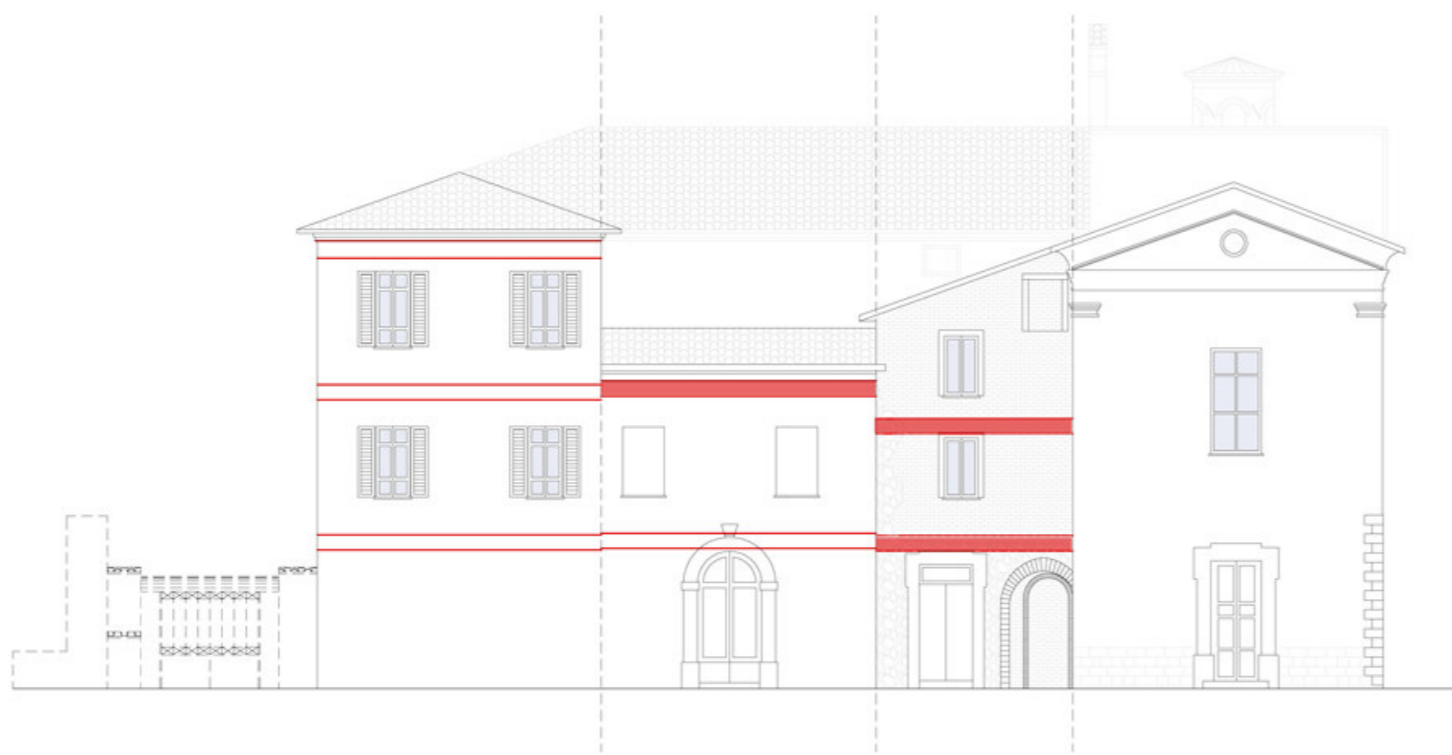


PROSPETTO EST

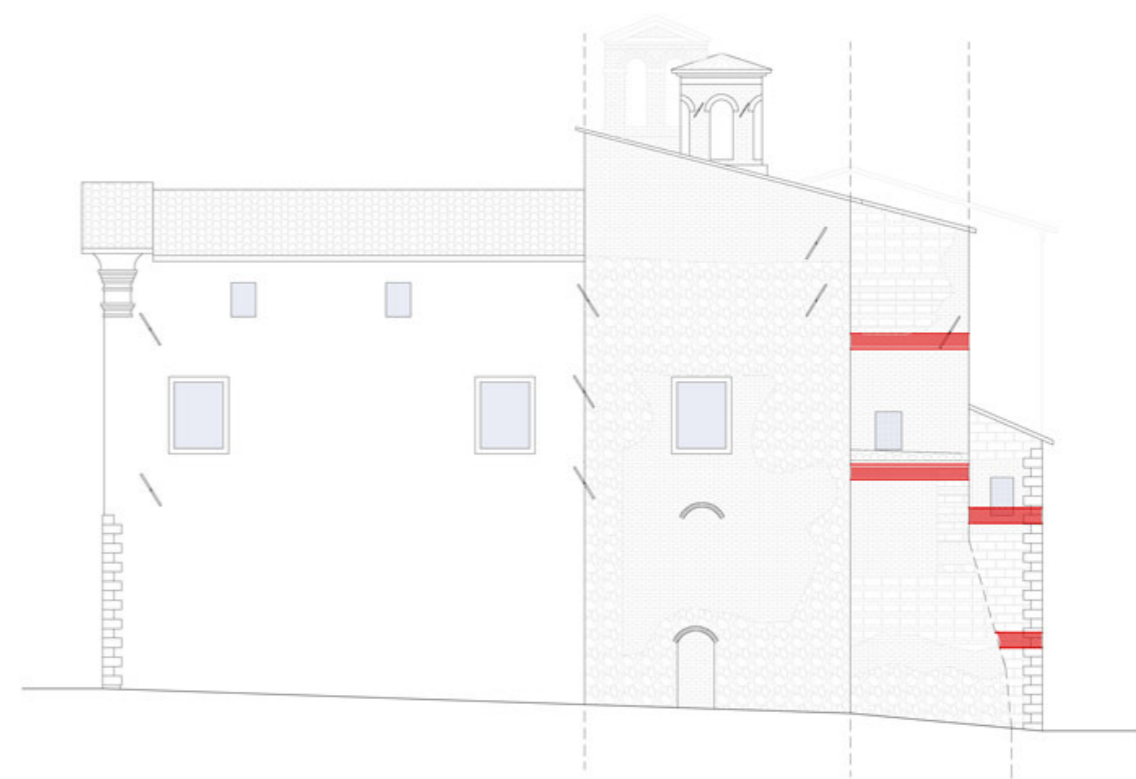
LEGENDA

- | | | | | |
|--|---|---|---|--|
|  FACCIATE RIFUSE |  FACCIATE DI COMPLETAMENTO |  SOPRAELEVAZIONI |  VULNERABILITA' TIPICA DI EDIFICIO CHIESASTICO |  DIAGONALI SPINGENTI |
|  DISCONNESSIONI IN FACCIATA |  CERNIERA DI RIBALTAMENTO |  RIBALTAMENTO PER ROMPIRATTA SPINGENTE |  RIBALTAMENTO CANTONALE |  ROMPIRATTA / COPERTURE SPINGENTI |

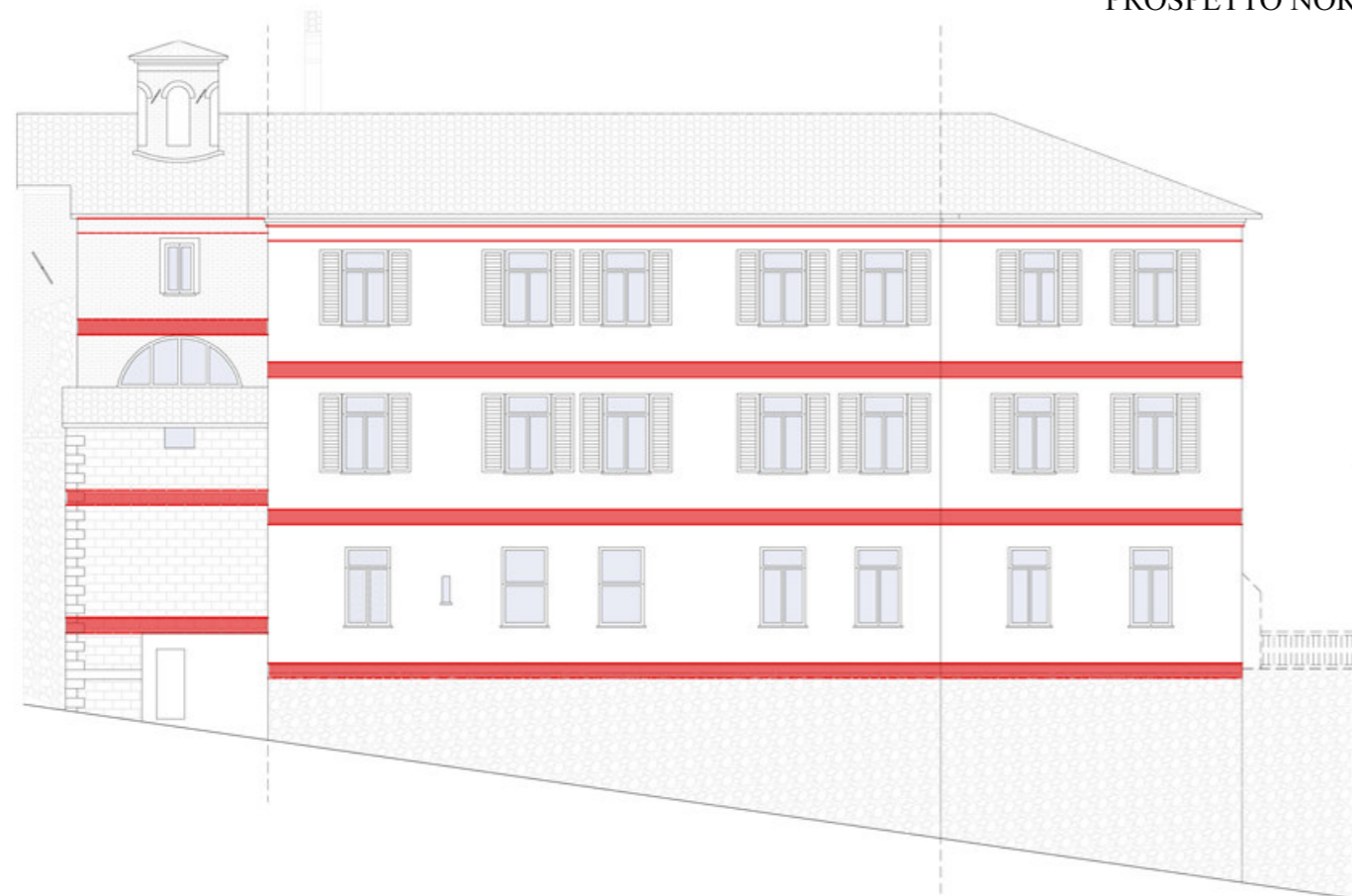




PROSPETTO NORD



PROSPETTO OVEST



PROSPETTO SUD



PROSPETTO EST

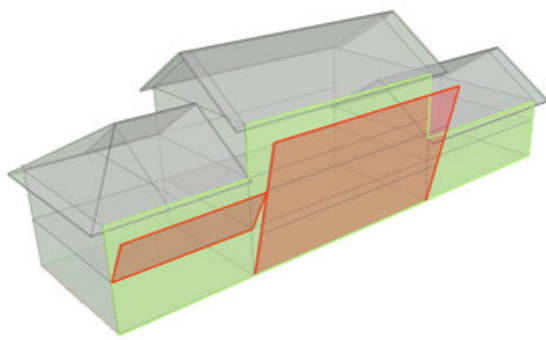
LEGENDA

— PROIEZIONE SOLAIO



SOLAI SFALSATI



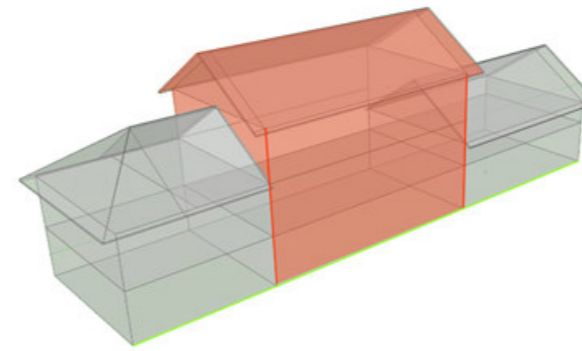


Indice di ribaltamento delle facciate (RF)

$$RF = \frac{\sum_i S_{rib,i}}{S_{tot}}$$

dove:

- $S_{rib,i}$: superficie ribaltabile i-esima;
- S_{tot} : superficie totale della facciata.

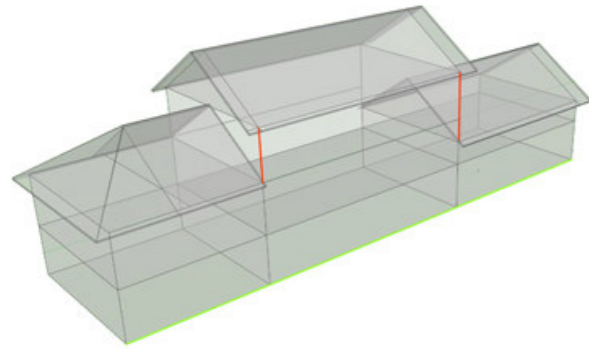


Indice di martellamento da c.a. (MCA)

$$MCA = \frac{\sum_i L_{cont,i}}{L_{tot}}$$

dove:

- $L_{cont,i}$: lunghezza di contatto i-esima tra edificio in muratura ed edificio in c.c.a.;
- L_{tot} : lunghezza totale del prospetto.

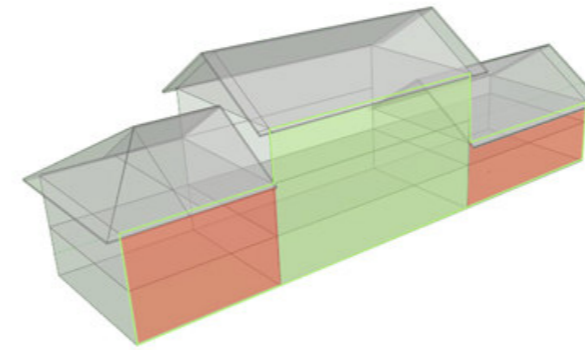


Indice di ribaltamento timpano (RT)

$$RT = \frac{\sum_i h_i}{L_{tot}}$$

dove:

- h_i : differenza di quota tra edifici adiacenti (con $h_i \geq 1,5m$);
- L_{tot} : lunghezza totale della facciata.

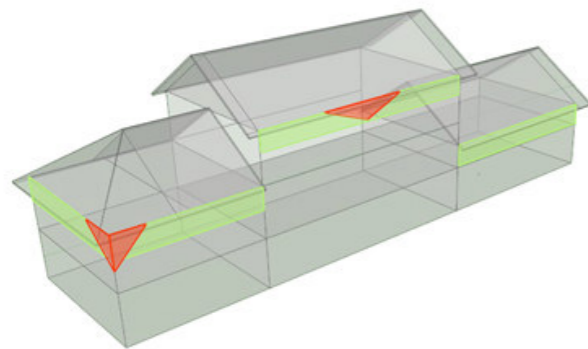


Indice di vulnerabilità a taglio (VT)

$$VT = \frac{\sum_i S_{taglio,i}}{S_{tot}}$$

dove:

- $S_{taglio,i}$: superficie vulnerabile a taglio i-esima;
- S_{tot} : superficie totale della facciata.

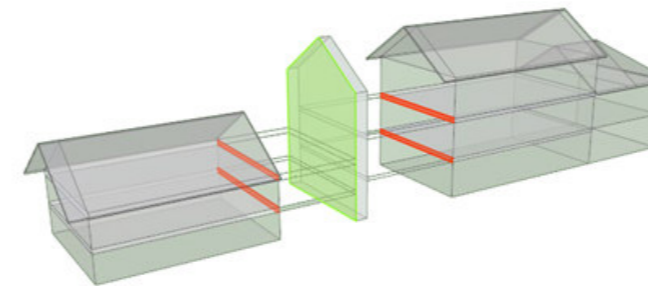


Indice di lesione da falsi puntoni (LP)

$$LP = \frac{\sum_i S_{rib,i}}{S_{1,5}}$$

dove:

- $S_{rib,i}$: superficie ribaltabile i-esima;
- $S_{1,5}$: superficie dell'ultima fascia del prospetto di altezza 1,5m.

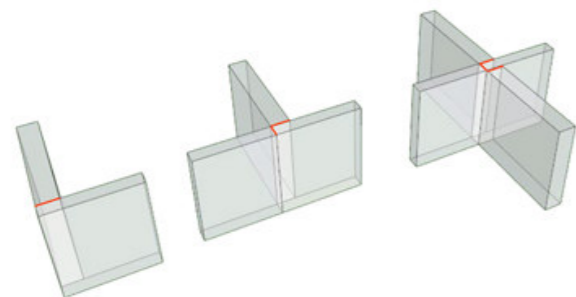


Indice di martellamento da solai sfalsati (MSS)

$$MSS = \frac{\sum_i S_{solai,i}}{S_{tot}}$$

dove:

- $S_{solai,i}$: superficie di contatto i-esima tra muratura d'ambito e solai sfalsati;
- S_{tot} : superficie totale delle superfici delle murature d'ambito.



Indice di disconnessione muraria (DM)

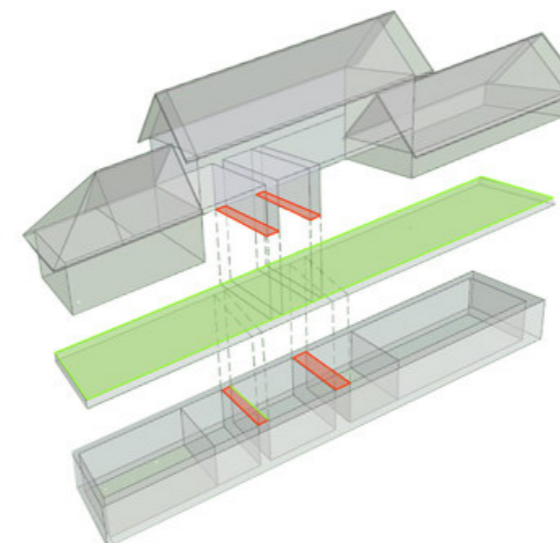
$$DM = \frac{n_{diseff}}{n_{dispot}}$$

dove:

- n_{diseff} : numero delle disconnessioni effettivamente presenti in un aggregato;
- n_{dispot} : numero delle disconnessioni potenzialmente presenti in un aggregato.

Le disconnessioni potenziali si calcolano nel seguente modo:

- $n=1$ se nel nodo afferiscono due pareti;
- $n=2$ se nel nodo afferiscono tre pareti;
- $n=3$ se nel nodo afferiscono quattro pareti.

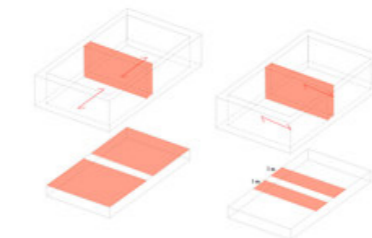


Indice di vulnerabilità da muri in falso (MF)

$$MF = \frac{\sum_i S_{solai,i}}{S_{tot}}$$

dove:

- $S_{solai,i}$: Superficie vulnerabile i-esima ricavata come:



- S_{tot} : Superficie totale del piano considerato

Indice globale analitico di vulnerabilità sismica **senza** il contributo della vulnerabilità da muri in falso

$$V_{GA} = DM \cdot P_{DM} + RF \cdot P_{RF} + RT \cdot P_{RT} + LP \cdot P_{LP} + VT \cdot P_{VT} + MCA \cdot P_{MCA} + MSS \cdot P_{MSS}$$

dove: $P_{RF}=27$; $P_{DM}=17$; $P_{RT}=7$; $P_{MSS}=6$; $P_{LP}=27$; $P_{VT}=9$; $P_{MCA}=7$;

Aggregato A2

Tipo di vulnerabilità	Esposizione	Quantità vulnerabile	Quantità totale	Indice
Disconnessioni murarie (DM)		n°	n°	%
Totale		12	61	19,7%
Ribaltamento facciate (RF)		mq	mq	%
di rifusione	Nord	44,47	306,78	14,5%
	Sud	88,90	484,50	18,3%
	Est	66,42	336,32	19,7%
	Ovest	9,16	309,70	3,0%
	Totale	208,95	1437,30	14,5%
di sopraelevazione	Nord	14,03	306,78	4,6%
	Sud	14,64	484,50	3,0%
	Est	0	336,32	0,0%
	Ovest	0	309,70	0,0%
	Totale	28,67	1437,30	2,0%
di completamento	Nord	59,16	306,78	19,3%
	Sud	271,02	484,50	55,9%
	Est	0	336,32	0,0%
	Ovest	0	309,70	0,0%
	Totale	330,18	1437,30	23,0%
di edificio chiesastico	Nord	17,97	306,78	5,9%
	Sud	5,50	484,50	1,1%
	Est	0	336,32	0,0%
	Ovest	0	309,70	0,0%
	Totale	23,47	1437,30	1,6%
Totale	Nord	135,63	306,78	44,2%
	Sud	380,06	484,50	78,4%
	Est	66,42	336,32	19,7%
	Ovest	9,16	309,70	3,0%
	Totale	591,27	1437,30	41,1%
Ribaltamento timpano (RT)		m	m	%
Totale	Nord	2,30	28,18	8,2%
	Sud	0	31,46	0,0%
	Est	0	28,41	0,0%
	Ovest	14,60	24,80	58,9%
	Totale	16,90	112,85	15,0%
Vulnerabilità a taglio (VT)		mq	mq	%
Totale	Nord	163,56	306,78	53,3%
	Sud	5,50	484,50	1,1%
	Est	0	336,32	0,0%
	Ovest	5,50	309,70	1,8%
	Totale	174,6	1437,30	12,1%
Lesione da falsi puntoni (LP)		mq	mq	%
rompitratta spingenti	Nord	4,50	42,27	10,6%
	Sud	0	47,19	0,0%
	Est	0	42,62	0,0%
	Ovest	4,50	37,20	12,1%
	Totale	9,00	169,28	5,3%
diagonali spingenti	Nord	9,00	42,27	21,3%
	Sud	13,50	47,19	28,6%
	Est	9,00	42,62	21,1%
	Ovest	0	37,20	0,0%
	Totale	31,50	169,28	18,6%
Totale	Nord	13,50	42,27	31,9%
	Sud	13,50	47,19	28,6%
	Est	9,00	42,62	21,1%
	Ovest	4,50	37,20	12,1%
	Totale	40,50	169,28	23,9%
Martellamento da cemento armato (MCA)		m	m	%
Totale	Nord	0	28,18	0,0%
	Sud	0	31,46	0,0%
	Est	0	28,41	0,0%
	Ovest	0	24,80	0,0%
	Totale	0	112,85	0,0%
Martellamento da solai sfalsati (MSS)		mq	mq	%
Totale	Nord	3,89	264,23	1,5%
	Sud	20,30	192,75	10,5%
	Est	0	0	0,0%
	Ovest	6,99	228,81	3,1%
	Totale	31,19	685,78	4,5%

Indice globale analitico di vulnerabilità sismica $V_{GA} = 23,3$

Aggregato A3

Tipo di vulnerabilità	Esposizione	Quantità vulnerabile	Quantità totale	Indice
Disconnessioni murarie (DM)		n°	n°	%
Totale		30	108	27,8%
Ribaltamento facciate (RF)		mq	mq	%
di rifusione	Nord	111,17	311,34	35,7%
	Sud	42,64	306,43	13,9%
	Est	143,89	476,98	30,2%
	Ovest	67,29	367,54	18,3%
	Totale	364,99	1462,29	25,0%
di sopraelevazione	Nord	36,47	311,34	11,7%
	Sud	21,86	306,43	7,1%
	Est	72,56	476,98	15,2%
	Ovest	54,26	367,54	14,8%
	Totale	185,15	1462,29	12,7%
di completamento	Nord	0	311,34	0,0%
	Sud	0	306,43	0,0%
	Est	36,99	476,98	7,8%
	Ovest	27,24	367,54	7,4%
	Totale	64,23	1462,29	4,4%
di edificio chiesastico	Nord	0	311,34	0,0%
	Sud	0	306,43	0,0%
	Est	0	476,98	0,0%
	Ovest	0	367,54	0,0%
	Totale	0	1462,29	0,0%
Totale	Nord	147,64	311,34	47,4%
	Sud	64,50	306,43	21,0%
	Est	253,44	476,98	53,1%
	Ovest	148,79	367,54	40,5%
	Totale	614,370	1462,29	42,0%
Ribaltamento timpano (RT)		m	m	%
Totale	Nord	0	25,82	0,0%
	Sud	0	27,72	0,0%
	Est	2,96	41,10	7,2%
	Ovest	6,00	37,78	15,9%
	Totale	8,96	132,42	6,8%
Vulnerabilità a taglio (VT)		mq	mq	%
Totale	Nord	231,97	311,34	74,5%
	Sud	66,49	306,43	21,7%
	Est	192,24	476,98	40,3%
	Ovest	16,14	367,54	4,4%
	Totale	506,84	1462,29	34,7%
Lesione da falsi puntoni (LP)		mq	mq	%
rompitratta spingenti	Nord	0	38,73	0,0%
	Sud	0	41,58	0,0%
	Est	9,00	61,65	14,6%
	Ovest	0	56,67	0,0%
	Totale	9,00	198,63	4,5%
diagonali spingenti	Nord	4,50	38,73	11,6%
	Sud	9,00	41,58	21,6%
	Est	4,50	61,65	7,3%
	Ovest	9,00	56,67	15,9%
	Totale	27,00	198,63	13,6%
Totale	Nord	4,50	38,73	11,6%
	Sud	9,00	41,58	21,6%
	Est	13,50	61,65	21,9%
	Ovest	9,00	56,67	15,9%
	Totale	36,00	198,63	18,1%
Martellamento da cemento armato (MCA)		m	m	%
Totale	Nord	0	25,82	0,0%
	Sud	0	27,72	0,0%
	Est	0	41,10	0,0%
	Ovest	0	37,78	0,0%
	Totale	0	132,42	0,0%
Martellamento da solai sfalsati (MSS)		mq	mq	%
Totale	Nord	0	121,10	0,0%
	Sud	25,12	166,20	15,1%
	Est	70,79	542,85	13,0%
	Ovest	69,70	570,10	12,2%
	Totale	165,61	1400,25	11,8%

Indice globale analitico di vulnerabilità sismica $V_{GA} = 25,3$

Indice globale analitico di vulnerabilità sismica **con** il contributo della vulnerabilità da muri in falso

$$V_{GA2} = DM \cdot P_{DM} + RF \cdot P_{RF} + RT \cdot P_{RT} + LP \cdot P_{LP} + VT \cdot P_{VT} + MCA \cdot P_{MCA} + MSS \cdot P_{MSS} + MF \cdot P_{MF}$$

dove: $P_{RF}=20$ $P_{DM}=10$ $P_{RT}=15$ $P_{MSS}=5$ $P_{LP}=20$ $P_{VT}=10$ $P_{MCA}=5$ $P_{MF}=15$

Aggregato A2

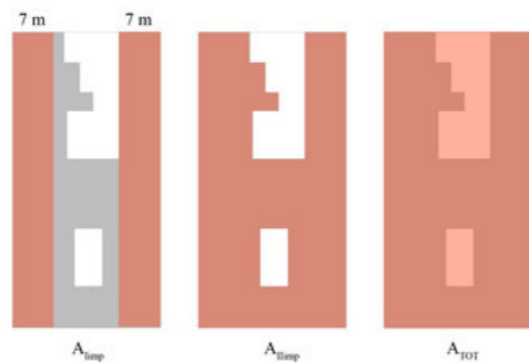
Tipo di vulnerabilità	Esposizione	Quantità vulnerabile	Quantità totale	Indice
Disconnessioni murarie (DM)		n°	n°	%
Totale		12	61	19,7%
Ribaltamento facciate (RF)		mq	mq	%
di rifusione	Nord	44,47	306,78	14,5%
	Sud	88,90	484,50	18,3%
	Est	66,42	336,32	19,7%
	Ovest	9,16	309,70	3,0%
	Totale	208,95	1437,30	14,5%
di sopraelevazione	Nord	14,03	306,78	4,6%
	Sud	14,64	484,50	3,0%
	Est	0	336,32	0,0%
	Ovest	0	309,70	0,0%
	Totale	28,67	1437,30	2,0%
di completamento	Nord	59,16	306,78	19,3%
	Sud	271,02	484,50	55,9%
	Est	0	336,32	0,0%
	Ovest	0	309,70	0,0%
	Totale	330,18	1437,30	23,0%
di edificio chiesastico	Nord	17,97	306,78	5,9%
	Sud	5,50	484,50	1,1%
	Est	0	336,32	0,0%
	Ovest	0	309,70	0,0%
	Totale	23,47	1437,30	1,6%
Totale	Nord	135,63	306,78	44,2%
	Sud	380,06	484,50	78,4%
	Est	66,42	336,32	19,7%
	Ovest	9,16	309,70	3,0%
	Totale	591,27	1437,30	41,1%
Ribaltamento timpano (RT)		m	m	%
Totale	Nord	2,30	28,18	8,2%
	Sud	0	31,46	0,0%
	Est	0	28,41	0,0%
	Ovest	14,60	24,80	58,9%
	Totale	16,90	112,85	15,0%
Vulnerabilità a taglio (VT)		mq	mq	%
Totale	Nord	163,56	306,78	53,3%
	Sud	5,50	484,50	1,1%
	Est	0	336,32	0,0%
	Ovest	5,50	309,70	1,8%
	Totale	174,6	1437,30	12,1%
Lesione da falsi puntoni (LP)		mq	mq	%
rompitratta spingenti	Nord	4,50	42,27	10,6%
	Sud	0	47,19	0,0%
	Est	0	42,62	0,0%
	Ovest	4,50	37,20	12,1%
	Totale	9,00	169,28	5,3%
diagonali spingenti	Nord	9,00	42,27	21,3%
	Sud	13,50	47,19	28,6%
	Est	9,00	42,62	21,1%
	Ovest	0	37,20	0,0%
	Totale	31,50	169,28	18,6%
Totale	Nord	13,50	42,27	31,9%
	Sud	13,50	47,19	28,6%
	Est	9,00	42,62	21,1%
	Ovest	4,50	37,20	12,1%
	Totale	40,50	169,28	23,9%
Martellamento da cemento armato (MCA)		m	m	%
Totale	Nord	0	28,18	0,0%
	Sud	0	31,46	0,0%
	Est	0	28,41	0,0%
	Ovest	0	24,80	0,0%
	Totale	0	112,85	0,0%
Martellamento da solai sfalsati (MSS)		mq	mq	%
Totale	Nord	3,89	264,23	1,5%
	Sud	20,30	192,75	10,5%
	Est	0	0	0,0%
	Ovest	6,99	228,81	3,1%
	Totale	31,19	685,78	4,5%
Vulnerabilità da muri in falso (MF)		mq	mq	%
Totale	I piano	20,65	664,87	3,1%
	II piano	0,00	620,47	0,0%
	III piano	187,82	547,59	34,3%
	Totale	208,47	1832,93	11,4%

Indice globale analitico di vulnerabilità sismica $V_{GA2} = 23,1$

Aggregato A3

Tipo di vulnerabilità	Esposizione	Quantità vulnerabile	Quantità totale	Indice
Disconnessioni murarie (DM)		n°	n°	%
Totale		30	108	27,8%
Ribaltamento facciate (RF)		mq	mq	%
di rifusione	Nord	111,17	311,34	35,7%
	Sud	42,64	306,43	13,9%
	Est	143,89	476,98	30,2%
	Ovest	67,29	367,54	18,3%
	Totale	364,99	1462,29	25,0%
di sopraelevazione	Nord	36,47	311,34	11,7%
	Sud	21,86	306,43	7,1%
	Est	72,56	476,98	15,2%
	Ovest	54,26	367,54	14,8%
	Totale	185,15	1462,29	12,7%
di completamento	Nord	0	311,34	0,0%
	Sud	0	306,43	0,0%
	Est	36,99	476,98	7,8%
	Ovest	27,24	367,54	7,4%
	Totale	64,23	1462,29	4,4%
di edificio chiesastico	Nord	0	311,34	0,0%
	Sud	0	306,43	0,0%
	Est	0	476,98	

Stima della trasformazione in pianta (TPs)



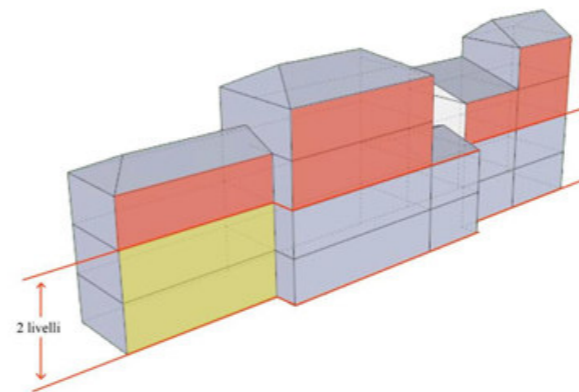
$$TP_S = \frac{r}{A_{TOT}} = \frac{A_{IIimp} - A_{Iimp}}{A_{TOT}}$$

Indice globale speditivo di vulnerabilità sismica **senza** il contributo della vulnerabilità da muri in falso

$$V_{GS} = TP_S \cdot P_{TP_S} + TA_S \cdot P_{TA_S} + RT \cdot P_{RT} + LP \cdot P_{LP} + VT \cdot P_{VT} + MCA \cdot P_{MCA} + MSS \cdot P_{MSS}$$

dove: $P_{TA}=27$; $P_{RT}=7$; $P_{LP}=27$; $P_{MCA}=7$; $P_{VT}=9$; $P_{TP}=17$; $P_{MSS}=6$.

Stima della trasformazione in alzato (TAs)



$$TA_S = \frac{(S_{>2^\circ\text{livello}} + S_{rifuse})}{S_{tot}}$$

Indice globale speditivo di vulnerabilità sismica **con** il contributo della vulnerabilità da muri in falso

$$V_{GS} = TP_S \cdot P_{TP_S} + TA_S \cdot P_{TA_S} + RT \cdot P_{RT} + LP \cdot P_{LP} + VT \cdot P_{VT} + MCA \cdot P_{MCA} + MSS \cdot P_{MSS} + MF \cdot P_{MF}$$

dove: $P_{TA}=20$ $P_{TP_S}=10$ $P_{RT}=15$ $P_{MSS}=5$ $P_{LP}=20$ $P_{VT}=10$ $P_{MCA}=5$ $P_{MF}=15$

Aggregato A2

Tipo di vulnerabilità	Esposizione	Quantità vulnerabile	Quantità totale	Indice
Ribaltamento facciate (RF)		mq	mq	%
superfici delle porzioni di prospetto che hanno subito una rifusione	Nord	103,63	306,78	33,8%
	Sud	359,92	484,50	74,3%
	Est	66	336,32	19,7%
	Ovest	9,16	309,70	3,0%
	Totale	539,13	1437,30	37,5%
superfici delle porzioni di prospetto superiori al secondo livello	Nord	32,00	306,78	10,4%
	Sud	20,14	484,50	4,2%
	Est	0	336,32	0,0%
	Ovest	0	309,70	0,0%
	Totale	52,14	1437,30	3,6%
Totale	Nord	135,63	306,78	44,2%
	Sud	380,06	484,50	78,4%
	Est	66,42	336,32	19,7%
	Ovest	9,16	309,70	3,0%
	Totale	591,27	1437,30	41,1%

Aggregato A3

Tipo di vulnerabilità	Esposizione	Quantità vulnerabile	Quantità totale	Indice
Stima della trasformazione in alzato (TA)		mq	mq	%
superfici delle porzioni di prospetto che hanno subito una rifusione	Nord	111,17	311,34	35,7%
	Sud	43	306,43	13,9%
	Est	180,88	476,98	37,9%
	Ovest	94,53	367,54	25,7%
	Totale	429,22	1462,29	29,4%
superfici delle porzioni di prospetto superiori al secondo livello	Nord	36,47	311,34	11,7%
	Sud	21,86	306,43	7,1%
	Est	72,56	476,98	15,2%
	Ovest	54,26	367,54	14,8%
	Totale	185,15	1462,29	12,7%
Totale	Nord	147,64	311,34	47,4%
	Sud	64,50	306,43	21,0%
	Est	253,44	476,98	53,1%
	Ovest	148,79	367,54	40,5%
	Totale	614,37	1462,29	42,0%

Aggregato A2

Tipo di vulnerabilità	Esposizione	Quantità vulnerabile	Quantità totale	Indice
Ribaltamento facciate (RF)		mq	mq	%
superfici delle porzioni di prospetto che hanno subito una rifusione	Nord	103,63	306,78	33,8%
	Sud	359,92	484,50	74,3%
	Est	66	336,32	19,7%
	Ovest	9,16	309,70	3,0%
	Totale	539,13	1437,30	37,5%
superfici delle porzioni di prospetto superiori al secondo livello	Nord	32,00	306,78	10,4%
	Sud	20,14	484,50	4,2%
	Est	0	336,32	0,0%
	Ovest	0	309,70	0,0%
	Totale	52,14	1437,30	3,6%
Totale	Nord	135,63	306,78	44,2%
	Sud	380,06	484,50	78,4%
	Est	66,42	336,32	19,7%
	Ovest	9,16	309,70	3,0%
	Totale	591,27	1437,30	41,1%

Aggregato A3

Tipo di vulnerabilità	Esposizione	Quantità vulnerabile	Quantità totale	Indice
Stima della trasformazione in alzato (TA)		mq	mq	%
superfici delle porzioni di prospetto che hanno subito una rifusione	Nord	111,17	311,34	35,7%
	Sud	43	306,43	13,9%
	Est	180,88	476,98	37,9%
	Ovest	94,53	367,54	25,7%
	Totale	429,22	1462,29	29,4%
superfici delle porzioni di prospetto superiori al secondo livello	Nord	36,47	311,34	11,7%
	Sud	21,86	306,43	7,1%
	Est	72,56	476,98	15,2%
	Ovest	54,26	367,54	14,8%
	Totale	185,15	1462,29	12,7%
Totale	Nord	147,64	311,34	47,4%
	Sud	64,50	306,43	21,0%
	Est	253,44	476,98	53,1%
	Ovest	148,79	367,54	40,5%
	Totale	614,37	1462,29	42,0%

Tipo di vulnerabilità	Sup. coperta	Sup. totale	Quantità totale	Indice
Stima della trasformazione in pianta (TP)	$A_{i,op,i=I,II}$ (mq)	A_{tot} (mq)	$r = A_i - A_i$ (mq)	%
Fase di I impianto (i=I)	475,98	833,07	275	33%
Fase di II impianto (i=II)	750,82			

Tipo di vulnerabilità	Sup. coperta	Sup. totale	Quantità totale	Indice
Stima della trasformazione in pianta (TP)	$A_{i,op,i=I,II}$ (mq)	A_{tot} (mq)	$r = A_i - A_i$ (mq)	%
Fase di I impianto (i=I)	552,16	922,82	356,43	38,6%
Fase di II impianto (i=II)	908,59			

Tipo di vulnerabilità	Sup. coperta	Sup. totale	Quantità totale	Indice
Stima della trasformazione in pianta (TP)	$A_{i,op,i=I,II}$ (mq)	A_{tot} (mq)	$r = A_i - A_i$ (mq)	%
Fase di I impianto (i=I)	475,98	833,07	275	33%
Fase di II impianto (i=II)	750,82			

Tipo di vulnerabilità	Sup. coperta	Sup. totale	Quantità totale	Indice
Stima della trasformazione in pianta (TP)	$A_{i,op,i=I,II}$ (mq)	A_{tot} (mq)	$r = A_i - A_i$ (mq)	%
Fase di I impianto (i=I)	552,16	922,82	356,43	38,6%
Fase di II impianto (i=II)	908,59			

Tipo di vulnerabilità	Esposizione	Quantità vulnerabile	Quantità totale	Indice
Ribaltamento timpano (RT)		m	m	%
Totale		16,90	112,85	15,0%
Vulnerabilità a taglio (VT)		mq	mq	%
Totale		174,6	1437,30	12,1%
Lesione da falsi puntoni (LP)		mq	mq	%
Totale		40,50	169,28	23,9%
Martellamento da cemento armato (MCA)		m	m	%
Totale		0	112,85	0,0%
Martellamento da solai sfalsati (MSS)		m	m	%
Totale		31,19	685,78	4,5%

Tipo di vulnerabilità	Esposizione	Quantità vulnerabile	Quantità totale	Indice
Ribaltamento timpano (RT)		m	m	%
Totale		8,96	132,42	6,8%
Vulnerabilità a taglio (VT)		mq	mq	%
Totale		506,84	1462,29	34,7%
Lesione da falsi puntoni (LP)		mq	mq	%
Totale		36,00	198,63	18,1%
Martellamento da cemento armato (MCA)		m	m	%
Totale		0	132,42	0,0%
Martellamento da solai sfalsati (MSS)		m	m	%
Totale		165,61	1400,25	11,8%

Tipo di vulnerabilità	Esposizione	Quantità vulnerabile	Quantità totale	Indice
Ribaltamento timpano (RT)		m	m	%
Totale		16,90	112,85	15,0%
Vulnerabilità a taglio (VT)		mq	mq	%
Totale		174,6	1437,30	12,1%
Lesione da falsi puntoni (LP)		mq	mq	%
Totale		40,50	169,28	23,9%
Martellamento da cemento armato (MCA)		m	m	%
Totale		0	112,85	0,0%
Martellamento da solai sfalsati (MSS)		m	m	%
Totale		31,19	685,78	4,5%
Vulnerabilità da muri in falso (MF)		mq	mq	%
Totale		208,47	1832,93	11,4%

Tipo di vulnerabilità	Esposizione	Quantità vulnerabile	Quantità totale	Indice
Ribaltamento timpano (RT)		m	m	%
Totale		8,96	132,42	6,8%
Vulnerabilità a taglio (VT)		mq	mq	%
Totale		174,6	1437,30	12,1%
Lesione da falsi puntoni (LP)		mq	mq	%
Totale		40,50	169,28	23,9%
Martellamento da cemento armato (MCA)		m	m	%
Totale		0	112,85	0,0%
Martellamento da solai sfalsati (MSS)		m	m	%
Totale		31,19	685,78	4,5%
Vulnerabilità da muri in falso (MF)		mq	mq	%
Totale		631,84	2057,56	30,7%

Indice globale speditivo di vulnerabilità sismica $V_{GS} = 25,6$

Indice globale speditivo di vulnerabilità sismica $V_{GS} = 27,1$

Indice globale speditivo di vulnerabilità sismica $V_{GS} = 25,1$

Indice globale speditivo di vulnerabilità sismica $V_{GS} = 25,6$

Risultati delle valutazioni analitica e speditiva condotte su Pergola e sui comuni emiliani oggetto di studio di tesi precedenti

		Carpi			Mirandola	Crevalcore	San Felice sul Panaro	Castelfranco Emilia			Pergola	
		Isolato 19	Isolato 36	Isolato 49	Isolato 27	Isolato XVIII	Isolato	Isolato Cappi - 3	Isolato Cuccoli - 14	Isolati 5-6	Isolato A2	Isolato A3
Ribaltamento facciate	di rifusione	45,4%	44,2%	33,6%	34,3%	38,6%	28,7%	41,1%	38,2%	26,3%	14,5%	25,0%
	di sopraelevazione	20,7%	22,0%	23,0%	19,0%	19,0%	10,5%	15,8%	9,9%	11,6%	2,0%	12,7%
	di completamento	8,2%	0,0%	0,0%	6,0%	1,1%	6,0%	10,7%	9,0%	2,6%	23,0%	4,4%
	di edificio chiesastico	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,60%	0,0%
	totale	74,4%	66,2%	56,6%	59,3%	58,8%	45,2%	67,6%	57,2%	40,6%	41,1%	42,0%
Disconnessioni murarie	totale	32,7%	29,8%	28,8%	28,4%	25,4%	26,2%	21,6%	38,1%	14,9%	19,7%	25,9%
Ribaltamento timpano	totale	18,5%	13,7%	9,0%	11,0%	10,1%	9,3%	5,6%	25,4%	18,5%	15,0%	6,80%
Vulnerabilità a taglio	totale	91,6%	75,8%	92,1%	34,5%	44,0%	60,3%	37,7%	27,5%	52,9%	12,1%	34,7%
Lesioni da falsi puntoni	diagonali spingenti	7,9%	2,3%	10,3%	9,3%	22,9%	22,1%	12,7%	8,6%	17,4%	18,6%	13,6%
	rompritratta spingenti	3,0%	3,5%	10,3%	4,6%	7,6%	14,8%	0,0%	2,2%	9,5%	5,3%	4,5%
	totale	10,9%	5,8%	20,6%	13,9%	30,6%	36,9%	12,7%	10,8%	26,9%	23,9%	18,1%
Martellamento da solai sfalsati	totale	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	8,7%	4,5%	11,8%
Martellamento da cemento armato	totale	10,0%	21,5%	0,0%	0,0%	2,9%	0,0%	12,7%	6,2%	6,2%	0,0%	0,0%
	Indice globale analitico di vulnerabilità	41,2	35,9	36,7	29,9	35,0	34,5	31,6	31,1	26,0	23,3	25,3

		Carpi			Mirandola	Crevalcore	San Felice sul Panaro	Castelfranco Emilia			Pergola	
		Isolato 19	Isolato 36	Isolato 49	Isolato 27	Isolato XVIII	Isolato	Isolato Cappi - 3	Isolato Cuccoli - 4	Isolati 5-6	Isolato A2	Isolato A3
Stima trasformazione in pianta	totale	26,1%	30,7%	50,2%	25,3%	22,9%	35,0%	13,8%	34,8%	30%	33,0%	38,6%
Stima trasformazione in alzata	di sopraelevazione	31,1%	32,3%	32,1%	31,8%	28,4%	24,0%	23,8%	9,9%	11%	3,6%	12,7%
	di rifusione	38,0%	43,2%	28,7%	26,4%	28,7%	23,2%	50,8%	49,5%	25%	37,5%	29,4%
	totale	69,1%	75,4%	60,8%	58,1%	57,1%	47,2%	74,6%	59,4%	37%	41,1%	42,1%
	Indice globale speditivo di vulnerabilità	38,5	38,7	41,7	29,1	34,1	36,6	32,2	31,2	27,4	25,6%	27,1%

Risultati delle valutazioni analitica e speditiva condotte su Pergola considerando il contributo della qualità muraria calcolato con il metodo Beta-NTC (sul singolo aggregato edilizio)

A2						
Unità strutturali (Usi)	Area (m ²)	Altezza (m)	Volume (m ³)	Indice qualità muraria dell'US (IQM _{US})	V x IQM _{US}	
1	108,76	9,06	985,37	3-A-B-C-E	2,45	2414,15
2	53,48	13,26	709,14	3-A-B-D-E	2,35	1666,49
3	83,55	3,28	274,04	3-A	2,85	781,03
4	19,23	2,8	53,84	3-A-B	2,7	145,38
5	231,37	3,74	865,32	3-A-B-E	2,55	2206,58
6	225,18	3,65	821,91	4-A-B-C	3,8	3123,25
7	29,25	3,67	107,35	5-A	4,75	509,90
tot	750,82		3816,9767			10846,76

A3						
Unità strutturali (Usi)	Area (m ²)	Altezza (m)	Volume (m ³)	Indice qualità muraria dell'US (IQM _{US})	V x IQM _{US}	
1	75,11	2,48	186,27	2-A-B	1,70	316,66
2	34,94	3,11	108,66	3-A-B-C-D-E	2,25	244,49
3	40,90	3,11	127,20	3-A-B-C-D-E	2,25	286,20
4	95,72	4,05	387,67	3-A-B	2,70	1046,70
5	55,90	3,50	195,65	3-A-B	2,70	528,26
6	71,48	2,63	187,99	3-A-B	2,70	507,58
7	74,84	2,98	223,02	3-A-B	2,70	602,16
8	38,92	2,95	114,81	2-A-B	1,70	195,18
9	151,46	2,84	430,15	5-A-B	4,50	1935,66
10	130,53	3,42	446,41	3-A-B-C-D-E	2,25	1004,43
11	44,03	3,27	143,98	5-A-B	4,50	647,90
12	22,85	2,34	53,47	5-A-B	4,50	240,61
13	71,91	4,20	302,02	C.A.		0,00
tot	908,59		2907,31			7555,83

$$IQM_{(Beta-NTC)} = \frac{\sum_i (V_{USi} \cdot IQM_{USi})}{V_{TOT}} = 2,84$$

$$V_{GA(Beta-NTC)} = \frac{V_{GA}}{CC} = 41$$

$$cc = \frac{IQM_G}{5} = \frac{2,84}{5} = 0,57$$

$$V_{GS(Beta-NTC)} = \frac{V_{GS}}{CC} = 45$$

$$IQM_{(Beta-NTC)} = \frac{\sum_i (V_{USi} \cdot IQM_{USi})}{V_{TOT}} = 2,59$$

$$V_{GA(Beta-NTC)} = \frac{V_{GA}}{CC} = 48,6$$

$$cc = \frac{IQM_G}{5} = \frac{2,59}{5} = 0,52$$

$$V_{GS(Beta-NTC)} = \frac{V_{GS}}{CC} = 51,1$$

Risultati delle valutazioni analitica e speditiva condotte su Pergola considerando il contributo della qualità muraria calcolato con il metodo IQM in riferimento all'intero centro storico

Tipologia di riferimento	IQM			% presenza	IQM * %		
	Azioni verticali	Azioni fuori dal piano	Azioni nel piano		Azioni verticali	Azioni fuori dal piano	Azioni nel piano
NUM. 05	8	9	8,5	20%	1,6	1,8	1,7
NUM. 09	4,5	4	3,5	40%	1,8	1,6	1,4
NUM. 11	2	1,5	2	40%	0,8	0,6	0,8
	4,2	4,0	3,9				
	4,2/10	4,0/10	3,9/10				

	Pergola		coefficiente correttivo	Pergola	
	Isolato A2	Isolato A3		Isolato A2	Isolato A3
Ribaltamento delle facciate	41,1%	42,0%	0,4	102,8%	105,0%
Ribaltamento del timpano	15,0%	6,8%	0,4	37,5%	17,0%
Disconnessioni murarie	19,7%	27,8%	/	19,70%	27,8%
Lesioni da falsi puntoni	23,9%	18,1%	0,4	59,8%	45,3%
Vulnerabilità a taglio	12,1%	34,7%	0,39	31,0%	89,0%
Martellamento da solai sfalsati	4,5%	11,8%	/	4,5%	11,8%
Martellamento da c.a.	0%	0%	/	0%	0%
Vgs(IQM)	23,3	25,3		52,9	55,2

	Pergola		coefficiente correttivo	Pergola	
	Isolato A2	Isolato A3		Isolato A2	Isolato A3
Stima trasformazione in pianta	41,1%	42,0%	/	41,1%	42,0%
Stima trasformazione in alzata	33,0%	38,6%	0,4	82,5%	96,5%
Vgs(IQM)	25,6	27,1		51,1	55,3

Confronto n°1

Classifica indicativa realizzata senza considerare il contributo della qualità muraria

Isolati	Indice globale analitico di vulnerabilità	Indice globale speditivo di vulnerabilità	Isolati
Carpi 19	41,2	41,7	Carpi 49
Carpi 49	36,7	38,7	Carpi 36
Carpi 36	35,9	38,5	Carpi 19
Crevalcore XVIII	35	36,6	San Felice
San Felice	34,5	34,1	Crevalcore XVIII
Castelfranco Cappi - 3	31,6	32,2	Castelfranco Cappi - 3
Castelfranco Cuccoli -14	31,1	31,2	Castelfranco Cuccoli -14
Mirandola 27	29,9	29,1	Mirandola 27
Castelfranco Isolati 5-6	26,0	27,4	Castelfranco Isolati 5-6
Pergola A3	25,3	27,1	Pergola A3
Pergola A2	23,3	25,6	Pergola A2

Confronto n°2

Classifica realizzata considerando il contributo della qualità muraria riferito ai singoli aggregati (considerando le apparecchiature murarie emiliane realizzate a regola d'arte)

Isolati	Indice globale analitico di vulnerabilità (Beta-NTC)	Indice globale speditivo di vulnerabilità (Beta-NTC)	Isolati
Pergola A3	48,6	52,1	Pergola A3
Carpi 19	41,2	45	Pergola A2
Pergola A2	41,0	41,7	Carpi 49
Carpi 49	36,7	38,7	Carpi 36
Carpi 36	35,9	38,5	Carpi 19
Crevalcore XVIII	35	36,6	San Felice
San Felice	34,5	34,1	Crevalcore XVIII
Castelfranco Cappi - 3	31,6	32,2	Castelfranco Cappi - 3
Castelfranco Cuccoli -14	31,1	31,2	Castelfranco Cuccoli -14
Mirandola 27	29,9	29,1	Mirandola 27
Castelfranco Isolati 5-6	26,0	27,4	Castelfranco Isolati 5-6

Confronto n°3

Classifica realizzata considerando il contributo della qualità muraria riferito all'intero comune (considerando le apparecchiature murarie emiliane realizzate a regola d'arte)

Isolati	Indice globale analitico di vulnerabilità (IQM)	Indice globale speditivo di vulnerabilità (IQM)	Isolati
Pergola A3	55,2	55,3	Pergola A3
Pergola A2	52,9	51,1	Pergola A2
Carpi 19	41,2	41,7	Carpi 49
Carpi 49	36,7	38,7	Carpi 36
Carpi 36	35,9	38,5	Carpi 19
Crevalcore XVIII	35	36,6	San Felice
San Felice	34,5	34,1	Crevalcore XVIII
Castelfranco Cappi - 3	31,6	32,2	Castelfranco Cappi - 3
Castelfranco Cuccoli -14	31,1	31,2	Castelfranco Cuccoli -14
Mirandola 27	29,9	29,1	Mirandola 27
Castelfranco Isolati 5-6	26,0	27,4	Castelfranco Isolati 5-6

Risultati delle valutazioni analitica e speditiva condotte sui comuni emiliani oggetto di studio di tesi precedenti considerando il contributo della qualità muraria calcolato con il metodo IQM in riferimento alla zona geo-materiale omogenea dell' Emilia

Tipologia di riferimento	IQM			% presenza	IQM * %			IQM _{PERGOLA}	CC			
	Azioni verticali	Azioni fuori dal piano	Azioni nel piano		Azioni verticali	Azioni fuori dal piano	Azioni nel piano					
NUM. 03	6	7	5	40%	2,4	2,8	2,0	6,9	7,8			
NUM. 05	8	9	8,5	40%	3,2	3,6	3,4					
NUM. 21	6,5	7	7	20%	1,3	1,4	1,4					
								6,9	7,8	6,8	IQM _{PERGOLA}	CC

	Crevalcore		coefficiente correttivo	Crevalcore	
	Isolato XVIII	Isolato XVIII		Isolato XVIII	Isolato XVIII
Ribaltamento delle facciate	58,8%	0,78	→	75,4%	
Ribaltamento del timpano	10%	0,78	→	12,9%	
Diconessioni murarie	25,4%	/	→	25,4%	
Lesioni da falsi puntoni	30,6%	0,78	→	39,2%	
Vulnerabilità a taglio	44,0%	0,68	→	64,7%	
Martellamento da solai sfalsati	0%	/	→	0%	
Martellamento da c.a.	2,9%	/	→	2,9%	
Vgs(IQM)	35,0	→		42,2	

	Crevalcore		coefficiente correttivo	Crevalcore	
	Isolato XVIII	Isolato XVIII		Isolato XVIII	Isolato XVIII
Stima trasformazione in pianta	22,9%	/	→	22,9%	
Stima trasformazione in alzata	57,1%	0,78	→	73,2%	
Vgs(IQM)	34,1	→		41,2	

Risultati delle valutazioni analitica e speditiva condotte su Pergola e considerando il contributo della qualità muraria calcolato con il metodo IQM in riferimento all'intero centro storico

Tipologia di riferimento	IQM			% presenza	IQM * %			IQM _{PERGOLA}	CC			
	Azioni verticali	Azioni fuori dal piano	Azioni nel piano		Azioni verticali	Azioni fuori dal piano	Azioni nel piano					
NUM. 05	8	9	8,5	20%	1,6	1,8	1,7	4,2	4,0			
NUM. 09	4,5	4	3,5	40%	1,8	1,6	1,4					
NUM. 11	2	1,5	2	40%	0,8	0,6	0,8					
								4,2	4,0	3,9	IQM _{PERGOLA}	CC

	Pergola		coefficiente correttivo	Pergola	
	Isolato A2	Isolato A3		Isolato A2	Isolato A3
Ribaltamento delle facciate	41,1%	42,0%	→	41,1%	42,0%
Ribaltamento del timpano	15,0%	6,8%	→	19,70%	27,8%
Diconessioni murarie	19,7%	27,8%	→	19,70%	27,8%
Lesioni da falsi puntoni	23,9%	18,1%	→	59,8%	45,3%
Vulnerabilità a taglio	12,1%	34,7%	→	31,0%	89,0%
Martellamento da solai sfalsati	4,5%	11,8%	→	4,5%	11,8%
Martellamento da c.a.	0%	0%	→	0%	0%
Vgs(IQM)	23,3	25,3	→	52,9	55,2

	Pergola		coefficiente correttivo	Pergola	
	Isolato A2	Isolato A3		Isolato A2	Isolato A3
Stima trasformazione in pianta	41,1%	42,0%	→	41,1%	42,0%
Stima trasformazione in alzata	33,0%	38,6%	→	82,5%	96,5%
Vgs(IQM)	25,6	27,1	→	51,1	55,3

	Carpi			coefficiente correttivo	Carpi		
	Isolato 19	Isolato 36	Isolato 49		Isolato 19	Isolato 36	Isolato 49
Ribaltamento delle facciate	74,4%	66,2%	56,6%	0,78	95,4%	84,9%	72,6%
Ribaltamento del timpano	18,5%	13,7%	9,0%	0,78	23,7%	17,6%	11,5%
Diconessioni murarie	32,7%	29,8%	28,8%	/	32,70%	29,8%	28,80%
Lesioni da falsi puntoni	10,9%	5,8%	20,6%	0,78	14,0%	7,4%	26,4%
Vulnerabilità a taglio	91,6%	75,8%	92,1%	0,68	100,0%	100,0%	100,0%
Martellamento da solai sfalsati	0%	0%	0%	/	0%	0%	0%
Martellamento da c.a.	10%	21,5%	0,0%	/	10%	21,5%	0,0%
Vgs(IQM)	41,2	35,9	36,7	→	46,4	41,7	41,4

	Mirandola		coefficiente correttivo	Mirandola	
	Isolato 27	Isolato 27		Isolato 27	Isolato 27
Ribaltamento delle facciate	59,3%	0,78	→	76,0%	
Ribaltamento del timpano	11%	0,78	→	14,1%	
Diconessioni murarie	28,4%	/	→	28,4%	
Lesioni da falsi puntoni	13,9%	0,78	→	17,8%	
Vulnerabilità a taglio	34,5%	0,68	→	50,7%	
Martellamento da solai sfalsati	0%	/	→	0%	
Martellamento da c.a.	0%	/	→	0%	
Vgs(IQM)	29,9	→		35,7	

	Carpi			coefficiente correttivo	Carpi		
	Isolato 19	Isolato 36	Isolato 49		Isolato 19	Isolato 36	Isolato 49
Stima trasformazione in pianta	26,1%	30,7%	50,2%	/	26,1%	30,7%	50,2%
Stima trasformazione in alzata	69,1%	75,4%	60,8%	0,78	88,6%	96,7%	77,9%
Vgs(IQM)	38,5	38,7	41,7	→	43,5	45,1	46,5

	Mirandola		coefficiente correttivo	Mirandola	
	Isolato 27	Isolato 27		Isolato 27	Isolato 27
Stima trasformazione in pianta	25,3%	/	→	25,3%	
Stima trasformazione in alzata	58,1%	0,78	→	74,5%	
Vgs(IQM)	29,1	→		34,8	

	Castelfranco Emilia			coefficiente correttivo	Castelfranco Emilia		
	Isolato 3	Isolato 14	Isolati 5-6		Isolato 3	Isolato 14	Isolati 5-6
Ribaltamento delle facciate	67,6%	57,2%	40,6%	0,78	86,7%	73,3%	52,1%
Ribaltamento del timpano	5,6%	25,4%	18,5%	0,78	7,2%	32,6%	23,7%
Diconessioni murarie	21,6%	38,1%	14,9%	/	21,6%	38,1%	14,9%
Lesioni da falsi puntoni	12,7%	10,8%	26,9%	0,78	16,3%	13,8%	34,5%
Vulnerabilità a taglio	37,7%	27,5%	52,9%	0,68	55,4%	40,4%	77,8%
Martellamento da solai sfalsati	0%	0%	8,7%	/	0%	0%	8,7%
Martellamento da c.a.	13%	6,2%	6,2%	/	13%	6,2%	6,2%
Vgs(IQM)	31,6	31,1	26,0	→	37,8	36,4	35,5

	San Felice sul Panaro		coefficiente correttivo	San Felice sul Panaro	
	Isolato	Isolato		Isolato	Isolato
Ribaltamento delle facciate	45,2%	0,78	→	57,9%	
Ribaltamento del timpano	9,3%	0,78	→	11,9%	
Diconessioni murarie	26,2%	/	→	26,2%	
Lesioni da falsi puntoni	36,9%	0,78	→	47,3%	
Vulnerabilità a taglio	60,3%	0,68	→	88,7%	
Martellamento da solai sfalsati	0%	/	→	0%	
Martellamento da c.a.	0%	/	→	0%	
Vgs(IQM)	34,5	→		41,7	

	Castelfranco Emilia			coefficiente correttivo	Castelfranco Emilia		
	Isolato 3	Isolato 14	Isolati 5-6		Isolato 3	Isolato 14	Isolati 5-6
Stima trasformazione in pianta	13,8%	34,8%	30,0%	/	13,8%	34,8%	30,0%
Stima trasformazione in alzata	75%	59,4%	37,0%	0,78	95,6%	76,2%	47,4%
Vgs(IQM)	32,2	31,2	27,4	→	38,9	36,6	36,8

	San Felice sul Panaro		coefficiente correttivo	San Felice sul Panaro	
	Isolato	Isolato		Isolato	Isolato
Stima trasformazione in pianta	35,0%	/	→	35,0%	
Stima trasformazione in alzata	47,2%	0,78	→	60,5%	
Vgs(IQM)	36,6	→		43,9	

Confronto n°4
Classifica realizzata considerando il contributo della qualità muraria calcolata con il metodo IQM

Isolati	Indice globale analitico di vulnerabilità (IQM)	Indice globale speditivo di vulnerabilità (IQM)	Isolati
Pergola A3	55,2	55,3	Pergola A3
Pergola A2	52,9	51,1	Pergola A2
Carpi 19	45,7	45,8	Carpi 49
Carpi 49	40,7	44,3	Carpi 36
Crevalcore XVIII	41,2	42,9	San Felice
Carpi 36	41,1	42,8	Carpi 19
San Felice	40,7	40,2	Crevalcore XVIII
Castelfranco Cappel - 3	37	38	Castelfranco Cappel - 3
Castelfranco Cuccoli -14	35,6	36,0	Castelfranco Isolati 5-6
Mirandola 27	34,9	35,8	Castelfranco Cuccoli -14
Castelfranco Isolati 5-6	34,7	34	Mirandola 27