

**ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

---

**FACOLTA' DI INGEGNERIA**

**CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE**

**DIPARTIMENTO DI ARCHITETTURA E PIANIFICAZIONE  
TERRITORIALE**

**TESI DI LAUREA**

**in  
Architettura Tecnica**

***ANALISI COSTRUTTIVA DI UN COMPARTO EDILIZIO DEL  
BORGO RINASCIMENTALE DI CASTEL BOLOGNESE (RA)  
FINALIZZATA AL MIGLIORAMENTO SISMICO***

**CANDIDATO:  
Federico Pirazzini**

**RELATORE:  
Prof. Ing. Giovanni Mochi**

**CORRELATORE:  
Prof. Ing. Luca Landi**

**Anno Accademico 2008/2009**

**Sessione I**

## INDICE

1. Localizzazione geografica .....	pag. 4
2. L'evoluzione storica della città di Castel Bolognese .....	pag. 5
2.1. Preistoria .....	pag. 5
2.2. Età romana .....	pag. 6
2.3. La centuriazione .....	pag.7
2.4. Età medievale .....	pag. 8
2.5. Nascita della città (1388 – 1394) .....	pag. 10
2.6. XV e XVI secolo .....	pag. 13
2.7. Gli assi generatori della città .....	pag. 15
2.8. Analisi dei singoli isolati .....	pag. 15
2.9. Dal XVII secolo ad oggi .....	pag. 16
3. Analisi dell'area di intervento .....	pag. 20
3.1. Edifici per il culto presenti e scomparsi .....	pag. 20
3.2. Stato attuale .....	pag. 23
4. Quadro normativo .....	pag. 25
4.1. DM 16/01/1996 .....	pag. 26
4.2. OPCM N.3274 del 20/03/2003 .....	pag. 29
4.3. Norme Tecniche per le costruzioni 2008 .....	pag. 33
4.4. "Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri per la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni" del 2008 .....	pag. 35
4.5. Considerazioni generali .....	pag. 37
5. Pericolosità sismica del territorio .....	pag. 37
5.1. Evoluzione delle zonizzazioni sismiche .....	pag. 38
5.2. Zona sismica di Castel Bolognese .....	pag. 39
5.3. Terremoti nella storia di Castel Bolognese .....	pag. 39
5.3.1. Scala MCS Descrizione degli effetti .....	pag. 39
5.3.2. Cronologia dei terremoti in Castel Bolognese .....	pag. 40

5.3.3. Breve storia di Sant'Emidio da Ascoli: protettore dai terremoti e co-patrono di Castel Bolognese .....	pag. 42
6. Descrizione delle tipologie edilizie .....	pag. 45
7. Il tessuto urbano oggetto di studio .....	pag. 53
8. Materiali .....	pag. 55
9. Meccanismi di collasso .....	pag. 56
9.1. Abaco meccanismi di collasso .....	pag. 57
9.1.1. Meccanismi di ribaltamento semplice .....	pag. 57
9.1.2. Meccanismi di flessione verticale .....	pag. 59
9.1.3. Meccanismi di flessione orizzontale .....	pag. 60
9.1.4. Meccanismi da taglio .....	pag. 63
9.1.5. Meccanismi di ribaltamento composto .....	pag. 63
9.2. Vulnerabilità sismiche nell'isolato oggetto di studio .....	pag. 65
10. Verifica sismica .....	pag. 68
10.1. Individuazione dell'unità strutturale .....	pag. 68
10.2. Analisi globale .....	pag. 69
10.2.1. Analisi statica non .....	pag. 69
10.2.2. Applicazione dell'analisi al caso in esame .....	pag.74
10.2.2.1. Analisi per sisma agente perpendicolarmente alla strada .....	pag. 75
10.2.2.2. Analisi per sisma agente parallelamente alla strada .....	pag. 80
10.3. Verifica meccanismi di collasso locali .....	pag. 85
10.3.1. Meccanismo di ribaltamento della facciata .....	pag.86
10.3.2. Applicazione al caso in esame .....	pag.91
10.3.2.1. Ribaltamento della parete sopra al primo solaio .....	pag.91
10.3.2.2. Ribaltamento dell'intera parete .....	pag.95
10.4. Conclusioni .....	pag.98
11. Possibili interventi previsti da normativa .....	pag.99
11.1. Interventi volti a ridurre le carenze dei collegamenti .....	pag.99
11.2. Interventi sugli archi e sulle volte .....	pag.103
11.3. Interventi volti a ridurre l'eccessiva deformabilità dei solai .....	pag.104

<b>11.4.</b>	<b><i>Interventi in copertura</i></b> .....	<b>pag.105</b>
<b>11.5.</b>	<b><i>Interventi che modificano la distribuzione degli elementi verticali resistenti</i></b> .....	<b>pag.106</b>
<b>11.6.</b>	<b><i>interventi volti ad incrementare la resistenza nei maschi murari</i></b> .....	<b>pag.107</b>
<b>11.7.</b>	<b><i>interventi su pilastri e colonne</i></b> .....	<b>pag.110</b>
<b>11.8.</b>	<b><i>Interventi volti a rinforzare le pareti intorno alle aperture</i></b> .....	<b>pag.110</b>
<b>11.9.</b>	<b><i>Interventi alle scale</i></b> .....	<b>pag.111</b>
<b>11.10.</b>	<b><i>interventi volti ad assicurare i collegamenti degli elementi non strutturali</i></b> .....	<b>pag.111</b>
<b>11.11.</b>	<b><i>interventi in fondazione</i></b> .....	<b>pag.111</b>
<b>11.12.</b>	<b><i>realizzazione di giunti sismici</i></b> .....	<b>pag.113</b>
<b>12.</b>	<b><i>Conclusioni</i></b> .....	<b>pag.113</b>
	<b><i>Bibliografia</i></b> .....	<b>pag.115</b>

## 1. LOCALIZZAZIONE

Castel Bolognese, rilevante centro agricolo e industriale di oltre 8000 abitanti, deve lo sviluppo alla sua posizione strategica, lungo la via Emilia, a metà strada fra Imola e Faenza.

E' centro di diramazione per Palazzuolo Sul Senio, attraverso Riolo Terme e Casola Valsenio, verso l'appennino Tosco-Emiliano e per i centri di Solarolo, Lugo di Romagna, Bagnacavallo e Ravenna verso il mare Adriatico.



## 2. L'evoluzione storica della città di Castel Bolognese

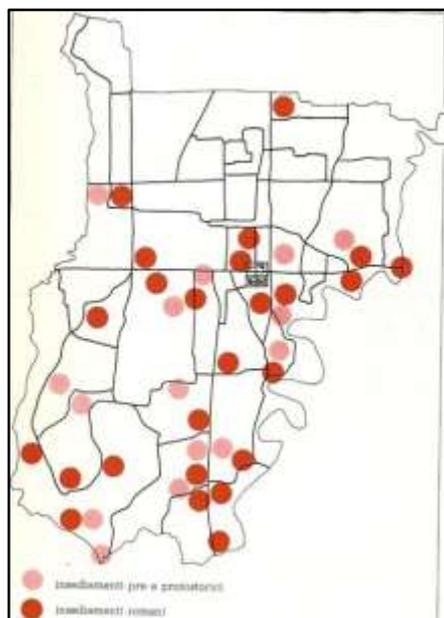
### 2.1. Preistoria

Castel Bolognese, come città, ha un passato non troppo antico; il suo territorio tuttavia conserva tracce dell'occupazione umana fin dai tempi più antichi: scavi e rinvenimenti decenti hanno permesso di mettere le basi per uno studio scientifico del territorio stesso focalizzandone gli insediamenti nelle varie epoche, dalla preistoria all'epoca romana e al medioevo e facendo il punto su conoscenze per il momento ancora in via di elaborazione.

Da tempo sono venuti alla luce nel territorio di Castel Bolognese reperti che vi testimoniano la presenza dell'uomo fin dalla preistoria. In questi ultimi anni, a seguito dell'espansione del centro urbano, i rinvenimenti sono diventati più frequenti, soprattutto quelli riferibili al periodo romano e all'alto medioevo. Si tratta in genere di rinvenimenti casuali, avvenuti nel corso di lavori agricoli o di scavi per la fondazione di nuovi edifici; infatti l'unico scavo sistematico è quello attualmente in corso alla pieve di Campiano.

Sembra comunque certo che i terrazzi antichi

del Senio presso Campiano e le colline della Serra siano stati frequentati dall'uomo fin da tempi antichissimi. Come nel resto della regione quindi le più antiche tracce della presenza dell'uomo sono state rinvenute nella bassa collina e nell'alta pianura, cioè nelle fasce geograficamente più stabili e meno soggette ad alluvioni.



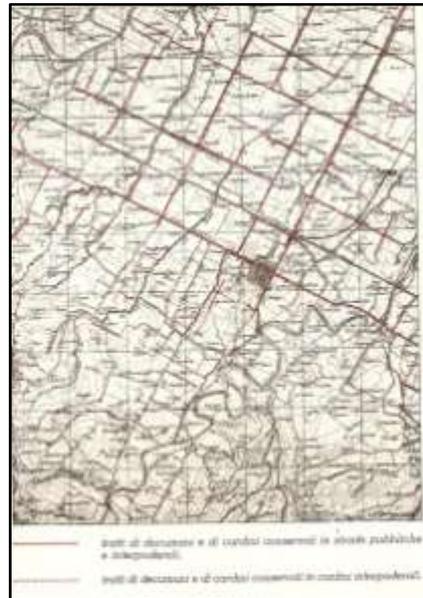
Distribuzione degli insediamenti pre-protostorici e romani attestati da rinvenimenti archeologici



Nasce così nel 187 a.C. la Via Emilia, che s'innestava a Piacenza sulla via Postumia e terminava a Rimini. Le sue stazioni sorsero, circa ogni 10 miglia (14,7 km) nei punti di incrocio con gli sbocchi delle strade che, provenienti dall'Umbria, dalla Toscana o dalla Liguria, scendevano lungo le valli dell'Appennino fino alla pianura.

### 2.3. La centuriazione

La pianura romagnola risulta quindi divisa in moduli quadrati di 714 metri di lato corrispondenti a 483 passi romani, che la fanno assomigliare a una scacchiera costituita da tante particelle di terreno delimitate da strade, sentieri e canali. Il territorio su cui sarà fondato Castel Bolognese in epoca romana è interessato dalla centuriazione impostata sulla Via Emilia e dall'assegnazione coloniarie viridiana dell'agro. La centuriazione a valle della Via Emilia è ancora abbastanza ben conservata. Se si osserva la carta topografica del territorio comunale si possono individuare a nord della Via Emilia strade che, per tratti più o meno lunghi, ricalcano il



Centuriazione del territorio di Castel Bolognese in età romana.



Parcellizzazione del territorio agrario.

tracciato di sei decumani paralleli alla via consolare. Altre strade, confini tra poderi o fossi perpendicolari alla Via Emilia corrispondono ai cardini. A sud della Via Emilia la rete stradale si adatta all'andamento del terreno e alla presenza del fiume, per cui la divisione appare meno regolare ed anche più

difficile da ricostruire. Si ritiene che già in età romana una strada mettesse in comunicazione la Romagna con l'Etruria lungo la valle del Senio, innestandosi sulla Via Emilia a livello di Castelbolognese (l'attuale via Casolana).

## 2.4. Età medievale

A partire dal X secolo, come in tutta l'Europa, si diffonde un altro tipo di insediamento: il castrum, o castello, che non è destinato solo alla difesa militare, ma anche ad essere un centro di potere. Nell'XI secolo le città della regione sono coinvolte nelle lotte per le investiture tra papato e impero; questo porta al delinearsi della situazione che favorisce la formazione dei comuni (inizio XII secolo).

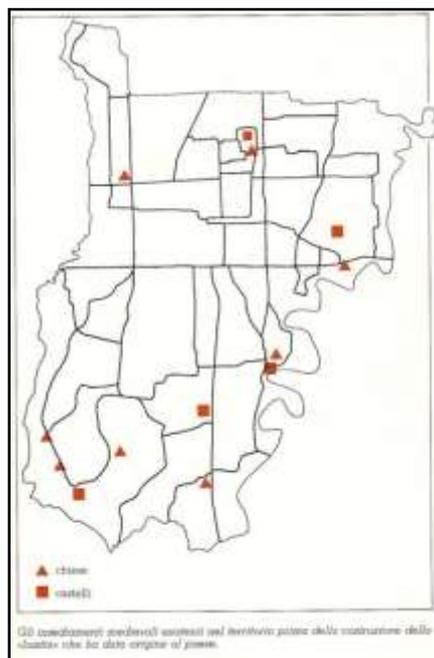
I comuni, una volta formati, estendono progressivamente la propria autorità politica ed economica oltre la zona suburbana, su tutto il territorio della diocesi, imponendosi ai villaggi, ai borghi fortificati e ai castelli. Raggiunti i limiti diocesani si scontrano fra di loro e si affrontano

in una serie interminabile di guerre e

guerricciole. In particolare Bologna attua una politica espansionistica verso la Romagna cercando soprattutto di sfruttare, insieme a Faenza, le difficoltà del comune di Imola nel controllo del proprio contado.

Per assicurarsi una valida difesa, Bologna fortificò delle località site a circa 20 km dalla città sulle strade più importanti che, a raggiera, confluivano su di lei, munendole di torri di avvistamento, di bastie, di castelli con presidi militari.

Nel corso del XIII secolo, mentre si evolvono le autonomie comunali, avviene un fatto importante per la storia della Romagna: il passaggio alla sovranità papale nel



distribuzione 1Gli insediamenti medievali esistenti prima della costruzione della bastia.

1278. La Romagna, Bologna compresa, diventa così una provincia dello Stato della Chiesa. Bologna, però, seppe conservare più a lungo le libertà comunali anche sotto lo Stato della Chiesa prima di passare al regime signorile.

Le comunità esistenti a cavallo della Via Emilia, tra il fiume Senio e il rio Sanguinario, attorno all'anno 1350, erano sei ed appartenevano al Contado di Imola; erano amministrare dai massari, cittadini che rappresentavano ogni comunità alle riunioni. Tre comunità appartenevano alla Legazione della Serra: Biancanigo, Limaticcio e Serra; tre appartenevano alla Legazione del Piano: Anconata, Casalecchio, Barignano.

La Legazione era una suddivisione amministrativa del contado. Ogni comunità aveva un castello per la propria difesa e per assicurare i servizi necessari alla comunità.

Biancanigo è una località che esiste ancora oggi, ma non esiste più il castello come alla Serra e a Casalecchio;

Limaticcio e Anconata sono oggi nomi di poderi in quanto la località non esiste più; Barignano è rimasto invece il nome di una via.

Bologna, insorta nel 1376 contro la Chiesa rivendicava le proprie



Pianta del comune di Castel Bolognese con indicate le comunità da cui ebbe origine la città.



Pianta delle Ville di Anconata, Barignano, Biancanigo, Casalecchio, Castelnuovo e Serra.

libertà municipali e ristabiliva il governo del popolo e delle Arti; Faenza era affidata alla Signoria dei Manfredi; Imola era governata dalla Signoria Alidosi, sempre fedele allo Stato della Chiesa. Questa situazione precaria faceva sì che i territori del Contado imolese fossero spesso percorsi da bande di armati che mettevano in pericolo le comunità locali con saccheggi, incendi e devastazioni che coinvolgevano, nella lotta tra fazioni, poveri contadini.

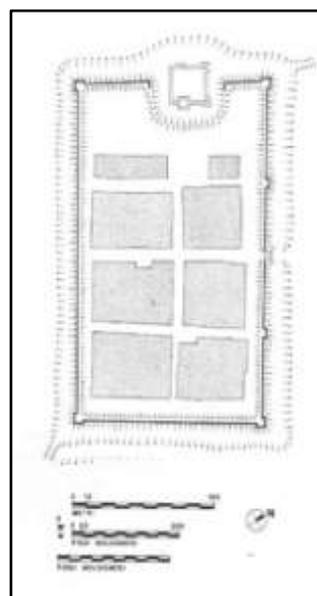
Fu per questi motivi che, nel 1374, i massari di 34 comunità del Contado imolese si riunirono per discutere e decisero di assoggettarsi a Bologna. Il senato bolognese accettò questa decisione, poiché essa coincideva anche con gli interessi della città di Bologna.

Tra la bastia di San Procolo (fortificazione alla destra del fiume Senio a guardia della via Emilia) e la Torretta (fortificazione sulla sinistra del rio Sanguinario) scelse, per motivi geografici e strategici, la località allora chiamata "Passo delle Catene", situata a metà strada tra Faenza e Imola, per costruirvi una bastia, destinata ad ospitare una guarnigione di soldati, che assicurasse tranquillità e pace a tali comunità.

La bastia fu costruita nel 1381 al centro dell'inizio della valle, un po' a monte della via Emilia, affinché le acque potessero defluire più velocemente.

## 2.5. Nascita della città (1388 – 1394)

Le continue scorrerie effettuate nella zona da bande armate assoldate dai vicini faentini, forlivesi e ravennati costrinsero gli abitanti delle sei comunità limitrofe alla bastia del Passo delle Catene a trovare rifugio, nei momenti di pericolo, all'interno della bastia. Ciò accrebbe l'importanza della fortificazione, tanto che le sue dimensioni si dimostrarono troppo modeste. I lavori decisi dal senato bolognese nel 1388 per l'ampliamento della bastia, per la costruzione di

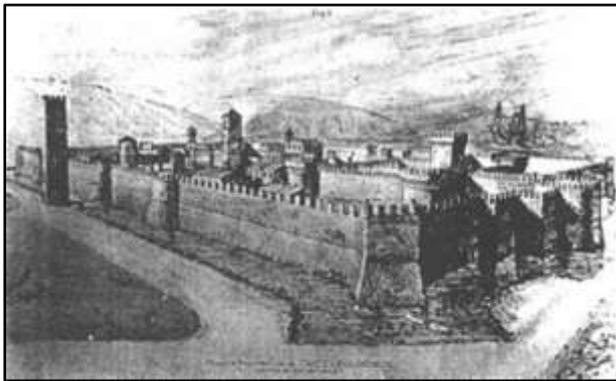


Pianta ricostruttiva di Castel Bolognese alla fine del 1300

valide mura e di nuovi edifici idonei ad ospitare persone ed armati e di tutti i servizi necessari si protrassero per circa un anno. Furono scavate della fossa per meglio difendere la fortificazione, in modo che la bastia si trasformò in castello. Nel 1389 il senato bolognese decise di raggruppare le Comunità di Serra, Biancanigo, Limaticcio, Anconata, Barignano e Casalecchio in un'unica comunità con sede nel castello, dando a quest'ultimo il nome di Castello dei Bolognesi. Questo centro assunse il ruolo di Comune autonomo, funzionante come centro di controllo del Contado di Imola.



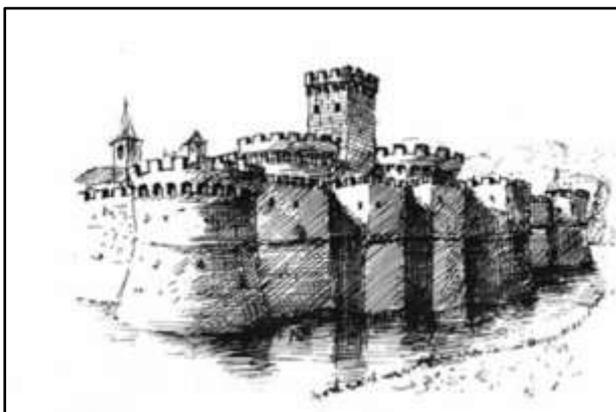
Atto di fondazione di Castel Bolognese.



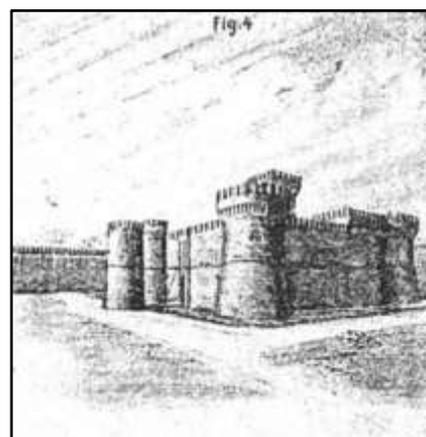
Veduta panoramica della città prima degli ampliamenti del 1425.

L'originario nucleo storico risultava tutto raccolto a monte della via Emilia, quasi a voler marcare sia una chiara forma di autonomia territoriale, sia un connotato di distinzione dalle vicine e più antiche città di Imola e Faenza.

L'impianto della cittadina doveva fin dall'inizio essere caratterizzato dalla geometrica presenza di isolati,



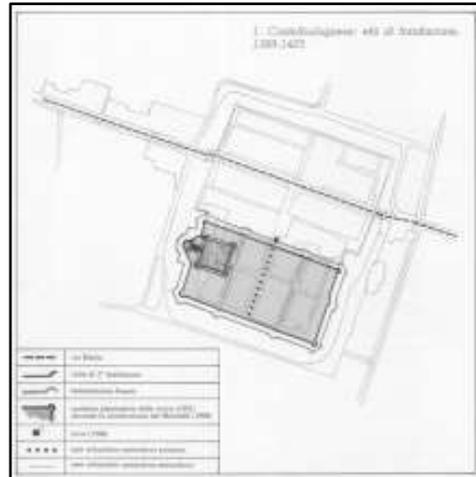
Ricostruzione ipotetica della rocca



Ricostruzione ideale della rocca

ritagliati, a partire dall'asse viario principale (quello perpendicolare alla via Emilia), secondo una simmetrica e parallela alternanza di strade e di fasce modulari non sempre omogenee.

Nel 1391 il castello fu munito, lungo il profilo occidentale della cinta, di una rocca che gli storici hanno voluto ascrivere alla paternità di Antonio di Vincenzo, architetto contemporaneamente impegnato nella fabbrica di San Petronio a Bologna. E' proprio la presenza della rocca a giustificare, tramite il tracciamento di una strada centrale ortogonale alle altre, l'interruzione e il taglio delle fasce modulari di isolato che corrono parallele all'asse principale del castello.



Pianta ricostruttiva di Castel Bolognese alla fine del 1300

Dal 1391 una rilevante successione di opere interessò la struttura urbanistica ed edilizia de nucleo appena sorto. Nel 1392 un canale, derivato dal Senio, alimentò il fossato scavato lungo la cinta ed i primi mulini per la macinazione del grano; nel 1393 prese il via la costruzione, al centro del tessuto viario, della prima chiesa, quella di San Petronio; nel 1394 Antonio di Vincenzo aggiunse nuove fortificazioni alla rocca e contemporaneamente Giovanni da Siena costruì, a nord, la torre di accesso al castello, munita di ponte levatoio.



La torre nella cinta di Castel Bolognese (secolo XIV)

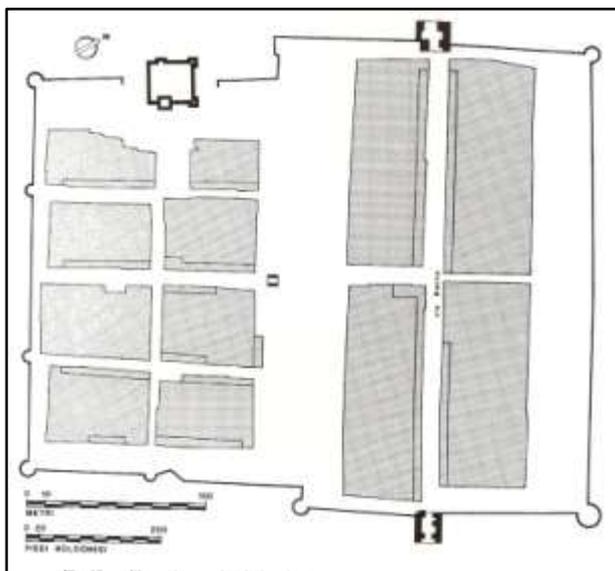


La torre nel 1915

## 2.6.XV e XVI secolo

Sul finire del XIV secolo all'esterno del perimetro urbano si era andato formando un borgo che, sviluppatosi in direzione della via Emilia, si dilatò celermente fino ad assumere proporzioni rilevanti.

Forse intorno al 1425, il nuovo tessuto di espansione fu munito di una cinta muraria che si innestò a quella di prima fondazione tramite l'abbattimento del tratto lungo il lato della torre. I tre lati restanti furono invece soggetti ad interventi di più solida e stabile organizzazione strutturale. Le mura inglobarono così i nuovi



Pianta ricostruttiva di Castel Bolognese nel '400

isolati adattandosi agli stessi con un perimetro non più perfettamente

simmetrico e furono munite di bastioni difensivi e di piazzole di guardia; la torre, quadrata e massiccia, simbolo di ingresso al castello, fu alzata e slanciata nelle

proporzioni e assunse un preciso ruolo di riferimento perché

attorno ad essa si trovò a gravitare il nuovo centro del paese. Un

brano di via Emilia risultò così incorporato all'interno del castello, assurgendo a nuovo asse

generatore della struttura urbanistica d'addizione, la quale

fin dall'inizio fu caratterizzata dalla sagoma allungata degli isolati.



Porta del Mercato costruita nel 1429 in un disegno di Giovanni Piancastelli

Diminuito il ruolo funzionale della prima torre d'accesso, saranno le nuove porte del Molino verso Faenza e del Mercato verso Imola, costruite nel 1429, a ridefinire il legame funzionale di Castel Bolognese con il suo territorio. Con questo ampliamento il ruolo svolto dall'aggregato urbano nei confronti del restante territorio fu notevolmente modificato: Castel Bolognese da piccolo castello chiuso qual'era, sorto più per presidiare che per svolgere un ruolo attivo ed autonomo, si trasformò in un centro di passaggio e di scambio che per la sua posizione strategica divenne oggetto di contese fra le città vicine.

Il 6 luglio 1501 il governatore di Romagna comunicò al Consiglio di Castel Bolognese l'ordine avuto dal nuovo conquistatore, il duca Cesare Borgia, di atterrare la rocca e le mura. Alla distruzione seguì il bando del duca il quale ordinava che il nome di Castel Bolognese fosse sostituito, in suo onore, con quello di Terra Cesarina. Dopo la caduta dei Borgia, il paese tornò ai suoi fondatori e il 30 agosto 1504 riprese la vecchia denominazione; sono certe e documentate la costruzione e il restauro della cinta muraria, mentre la rocca non fu più riedificata. Intanto un nuovo borgo si formava all'esterno del centro fortificato lungo la via Emilia, nei pressi della porta del Mercato, mentre all'interno nuove abitazioni, sorte a ridosso l'una dell'altra, facevano da cornice alla strada principale. Nel borgo, destinato a diventare la parte quantitativamente più rilevante dell'insieme urbanistico, si svilupparono interessanti episodi architettonici fra cui la chiesa di Santa Maria della Misericordia, Santa Lucia, Santa Croce e quella del Rosario Vecchio.



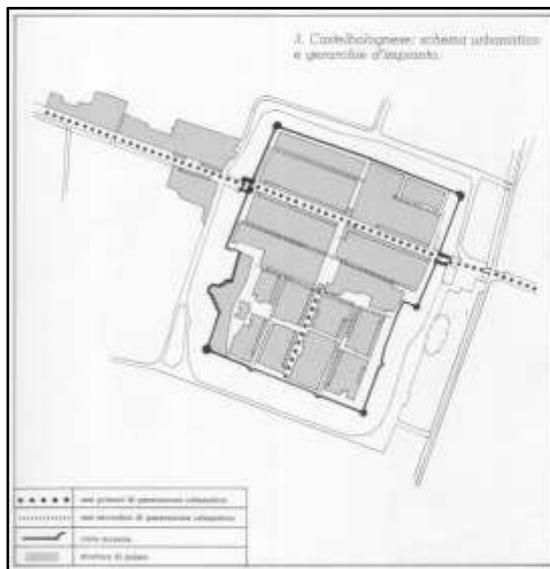
Porta del molino nel 1850.



Porta del molino costruita nel 1429 in una stampa ottocentesca.

## 2.7. Gli assi generatori della città

I due assi generatori principali sono rappresentati dalla via Emilia e da una strada (l'asse originario del primo castello) a questa ortogonale. Il più antico tessuto urbano, tutto concentrato a monte della via Emilia, è impostato sulla generatrice lineare mediana, uscente dalla torre di accesso al castello. L'abbinamento di assi primari e secondari sfocia nella formazione di due parti urbane distinte e perpendicolari fra loro per cui si può dire che Castel Bolognese è



Schema urbanistico e gerarchie di impianto.

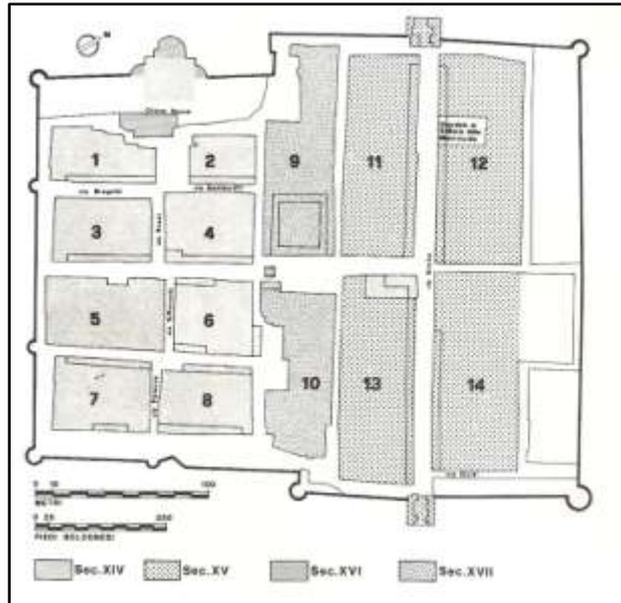
formato da due piccole città saldate insieme normalmente l'una rispetto all'altra.

## 2.8. Analisi dei singoli isolati

Gli otto isolati, ancora esistenti nell'area sud del paese, compresi all'interno del perimetro più antico, possono essere considerati come facenti parte del nucleo contemporaneo o di poco posteriore alla fondazione. Si rileva anzitutto una omogeneità nella disposizione dei nuclei insediativi, di forma pressoché rettangolare e distribuiti ortogonalmente rispetto ai percorsi viari: il principale, in asse con la torre - porta, gli altri due ad esso paralleli tagliati, a loro volta, da una strada con andamento est - ovest, che partendo dalla rocca raggiunge il lato opposto delle mura.

I nuclei 1-2 presentavano, in origine, un unico fronte porticato, mentre l'area retrostante sembra costituire una aggiunta post-cinquecentesca. Il nucleo 4, doveva

presentare in origine un doppio fronte porticato, essendosene individuati i resti; il che sembra giustificare l'aggetto del nucleo 4 sulla strada rispetto a quello del nucleo 3, più arretrato. Inoltre gli ampliamenti a nord degli isolati 2,4,6,8 potrebbero coincidere con l'abbattimento del tratto difensivo trecentesco. Con l'ampliamento della cinta muraria il borgo fu inglobato all'interno del paese. Con la chiusura del borgo l'area oggi



Pianta con l'indicazione e lo sviluppo urbanistico dei singoli isolati

occupata dagli isolati 9 e 10 dovette rimanere inedita per un certo periodo: la stessa configurazione dei nuclei, piuttosto irregolare, sembra giustificare una tardiva costruzione.

## 2.9. Dal XVII secolo ad oggi

Il tardo '500 e il XVII secolo non furono secoli di sviluppo sociale e produttivo. Il processo di rifeudalizzazione che attraversò i territori delle legazioni pontificie determinò una diffusa stasi del settore edilizio. Una rilevante eccezione è quella rappresentata dalla costruzione del monastero delle domenicane, avviata nel 1612. Solo nel secolo XVIII si



Mappa catastale 1835

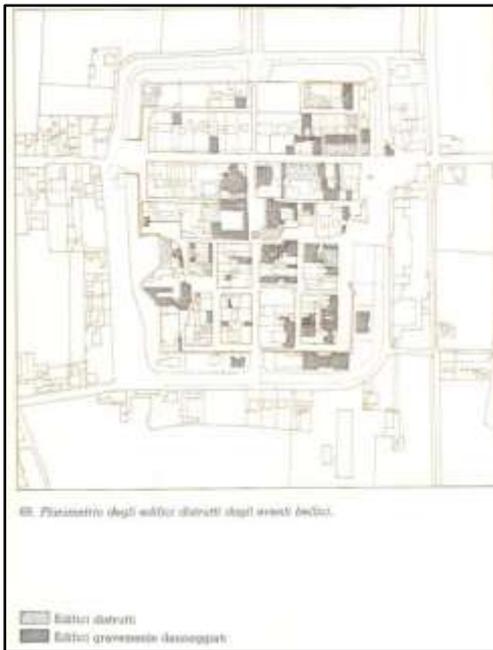
registrarono alcune parziali novità in una cittadina di provincia come Castel Bolognese. Gli interventi eseguiti dalla municipalità, dagli ordini religiosi e da alcuni privati si limitarono ad una semplice rigenerazione della compagine edilizia del centro senza scalfire la ormai consolidata struttura urbanistica del castello. E' nella seconda metà del secolo XIX che si cominciano a registrare i primi interventi di parziale correzione dell'impianto urbano. Dopo la stagione napoleonica e quella della restaurazione sarà la gestione urbana seguita dall'Unità d'Italia ad avviare, tramite l'abbattimento delle antiche porte (1876) e di parte delle mura, un processo veloce. Soprattutto in seguito alle distruzioni provocate dal secondo conflitto mondiale alcune parti di città appaiono alterate nella loro antica morfologia. Demolizioni, tagli, correzioni, ricostruzioni arbitrarie, si inseriscono nel vecchio vocabolario architettonico di Castel



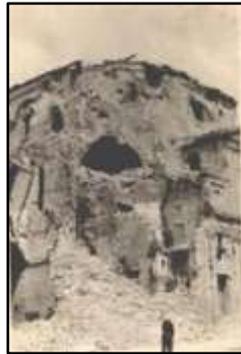
Bolognese. Il passaggio dalla città compatta, racchiusa nelle sue mura e con un'unica appendice esterna espressa dal borgo, alla città esplosa, determinata dall'addizione, intorno al vecchio centro, di tanti e inqualificati interventi edilizi che fanno cadere l'antico rapporto tra tipologia edilizia e forma urbana, definisce i contorni di un processo che può oggi essere bloccato, in modo tale da recuperare il significato di un tessuto di memorie altrimenti destinato a scomparire.

Al fine di coordinare l'opera di ricostruzione, lo Stato intervenne prescrivendo al comune l'adozione di un piano di ricostruzione, limitato alle zone distrutte o fortemente danneggiate dell'abitato. Detti piani avevano lo scopo prioritario di accelerare e coordinare sommariamente l'attività edilizia. Le loro disposizioni però

non si ponevano problemi di rispetto dell'ambiente storico e di recupero del patrimonio danneggiato, anzi, essendo assai sommarie e imprecise, lasciavano ampi spazi alla speculazione privata. L'amministrazione comunale affidò il compito di stendere tale piano all'architetto romano Domenico Sandri, il quale presentò la sua prima proposta nel maggio 1946.



Planimetria degli edifici distrutti durante gli eventi bellici



I gravi danni subiti dalla chiesa di San Francesco



La via Emilia vista da piazza Garibaldi dopo i bombardamenti

Questo piano di ricostruzione forniva il primo abbozzo di zonizzazione in quanto prevedeva, oltre ai settori di espansione residenziale, anche un'area sportiva, una commerciale destinata a mercato, una cintura di verde pubblico attorno alle mura e una strada di circonvallazione a valle del paese. Secondo il progetto il centro storico sarebbe stato completamente modificato, essendo prevista la costruzione attorno a piazza Bernardi di quattro imponenti strutture in luogo degli antichi edifici parzialmente distrutti. Se fossero state realizzate tali proposte tutto il centro del paese sarebbe stato demolito per far spazio alle nuove costruzioni, ma le critiche dei cittadini rivolte al progetto fecero

maturare l'esigenza di apportare significative varianti al piano. Con la quarta e definitiva variante del giugno 1950 la sede comunale fu localizzata in Palazzo Mengoni, il teatro fu previsto nella medesima posizione di quello distrutto e piazza Bernardi fu allargata con la demolizione della chiesa del Suffragio e dell'ex palazzo municipale.

Rispetto al primo piano di ricostruzione, quest'ultima variante riduceva notevolmente le previsioni edificative in quanto veniva abbandonato il progetto di realizzare

l'albergo, il centro direzionale e il mercato coperto. Il centro del paese assunse dunque la configurazione che vediamo ancora oggi con l'unica eccezione del teatro, il quale pur essendo sempre presente nei piani programmatici delle amministrazioni, non è mai stato realizzato.



**Primo programma di ricostruzione (maggio 1946)**



**Il piano di ricostruzione definitivo (giugno 1950)**



**L'anonimo edificio edificato al posto del palazzo comunale.**



**Il vecchio palazzo comunale edificato nel 1747 e abbattuto nel dopoguerra.**



**L'area un tempo occupata dal teatro comunale**

### **3. ANALISI DELL'AREA DI INTERVENTO**

#### **1.1. Edifici per il culto presenti e scomparsi**

All'interno degli isolati che sto considerando notiamo la presenza di edifici religiosi di vario tipo: il convento delle Terziarie di San Francesco (20), poi scomparso, la chiesa del Rosario Vecchio (10) che, probabilmente di forma sferica, sorgeva all'angolo tra via Gattamarcia (ora via Pallantieri) e via Roma nuova (ora via

Costa), venne poi chiusa al culto nel 1644 e nel tempo è stata trasformata in abitazione, e la chiesa di Santa Maria della Misericordia (6) col vicino ospedale (21). Tale chiesa fu eretta nel 1396 insieme all'ospedale e subì radicali modifiche in due tempi diversi: nel 1751 iniziarono i lavori della cappella maggiore e del presbiterio, che venivano innestati nel corpo della navata antica; nel 1772 iniziarono i lavori di ricostruzione del corpo della



Ubicazione di chiese e conventi presenti e scomparsi nel centro storico

chiesa: problema non facile in quanto prevedeva l'inserimento dell'avancorpo della chiesa tra due edifici laterali di uguale altezza senza danneggiare l'illuminazione dell'interno.

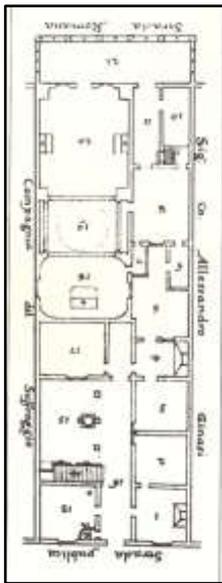


Convento delle terziarie francescane ora trasformato in abitazione



Luogo dove sorgeva la chiesa del Rosario Vecchio

L'architetto Cosimo Morelli, partendo dal tratto già costruito, vi congiunse la nuova navata e alzò la facciata; per dare luce alla chiesa escogitò una cupola emisferica ritagliata da meridiani e paralleli a rilievo, su cui impostò una lanterna ampiamente finestrata.



Pianta dell'ospedale e della chiesa di Santa Maria come apparivano nel 1791

La chiesa venne chiusa al culto nel 1866 e fu utilizzata in vario modo: deposito di cereali, magazzino, palestra e cinema; attualmente serve quale luogo di esposizione al pubblico di mostre. L'ospedale era ubicato a ponente della chiesa e là rimase per circa 300 anni e, contemporaneamente ai lavori di modifica della chiesa, ne fu costruito uno più ampio nel retro

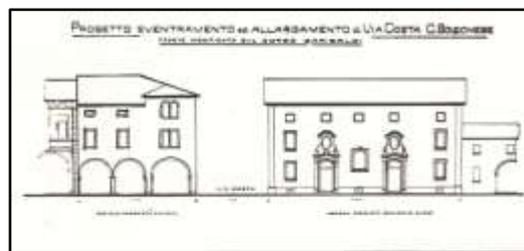
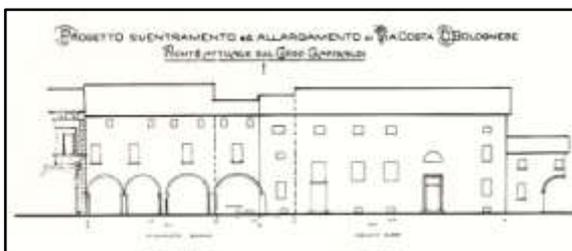


Facciata della chiesa di Santa Maria della Misericordia

della chiesa, con lo scopo sia di ricoverare gli ammalati, sia di ospitare i poveri e i pellegrini. Con la

soppressione della Confraternita della Misericordia, avvenuta nel 1798, l'ospedale fu trasferito nell'ex convento di San Francesco.

Durante il regime fascista Castel Bolognese, come tante altre città italiane, subì alterazioni gravissime. In particolare, nel 1935, la volontà di rendere il viale della Stazione più ampio e diritto portò all'allargamento di via Costa e alla demolizione dell'antico, caratteristico voltone che congiungeva il monastero delle suore domenicane di clausura (13) ai portici del corso. Le suore dovettero cedere un tratto della loro proprietà per permettere tale ampliamento ed in cambio ottennero il permesso di inglobare entro i confini del monastero la vecchia via Gattamarcia che così cessò di esistere.



Prospetto sulla via Emilia prima e dopo l'intervento



Foto dell'inizio di via Costa prima dell'intervento e come si presenta oggi.

### 3.2. Stato attuale

Si è scelto di analizzare un isolato del borgo quattrocentesco di Castel Bolognese che fosse rappresentativo per quanto riguarda le tecniche costruttive tradizionali della località.

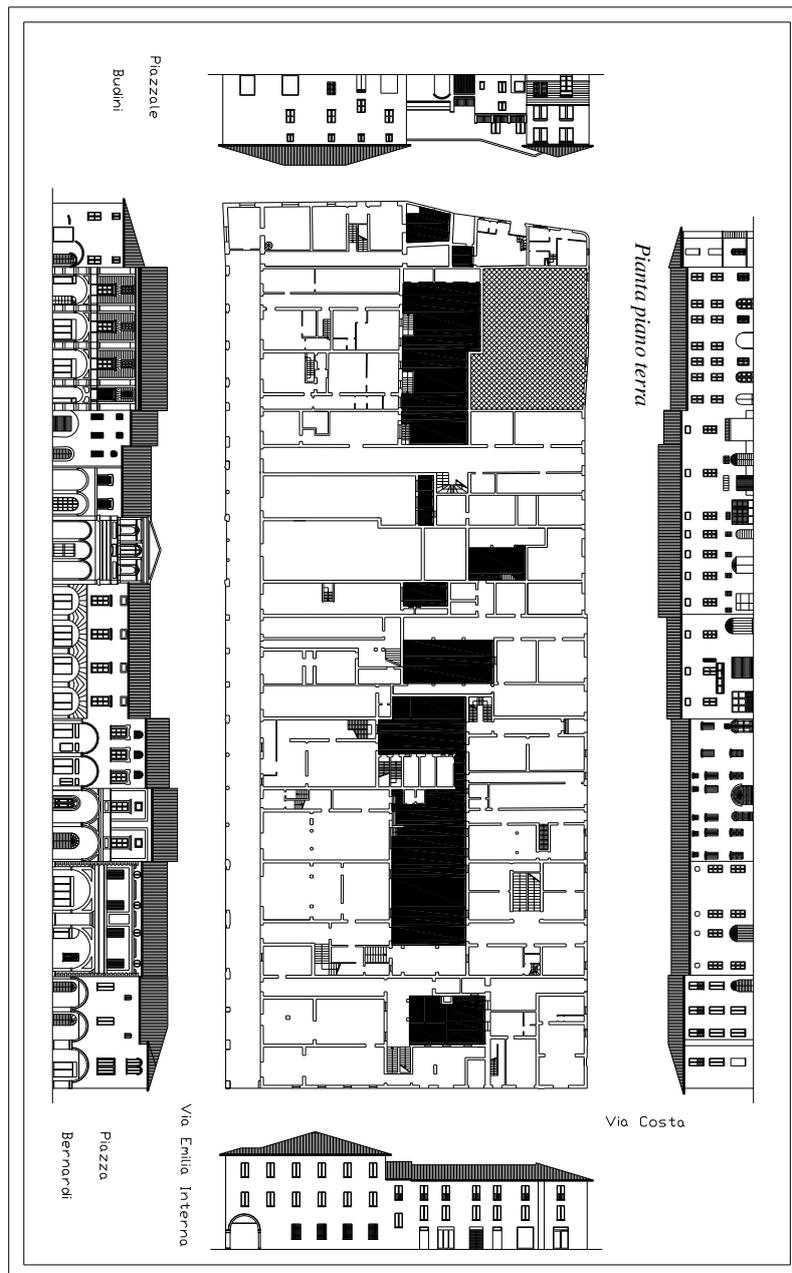
La scelta è stata fortemente condizionata dall' elevato tasso di distruzione che ha colpito alcune zone del borgo durante la seconda guerra mondiale.

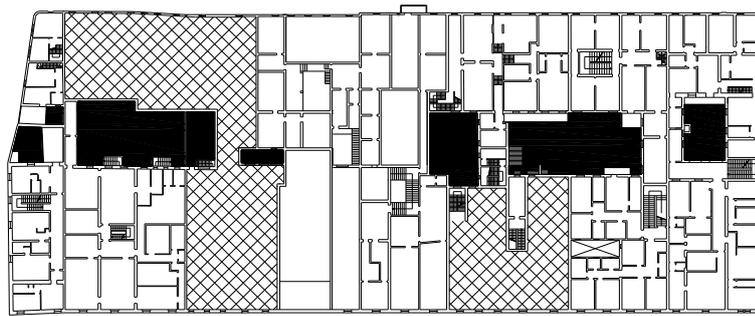


L'isolato scelto presenta un lungo portico sulla Via Emilia dove si affacciano numerosi esercizi commerciali e la chiesa di Santa Maria della Misericordia.

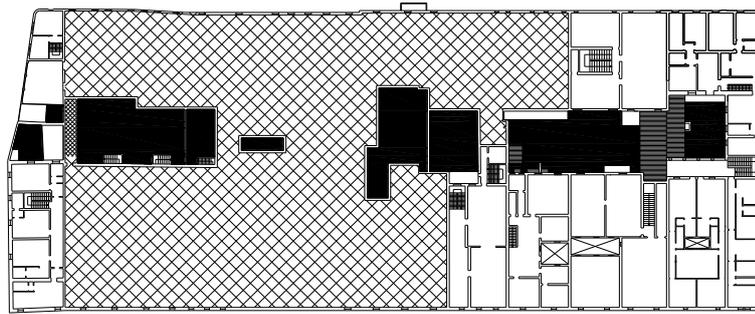
I primi piani degli edifici sono in generale adibiti ad uso abitativo, mentre al piano terra lungo la via Rondanini sono presenti anche alcune botteghe artigiane.

In pianta è ancora riconoscibile la struttura originaria a lotto gotico anche se in più punti si è arrivati alla completa saturazione della corte interna.





pianta piano primo



pianta piano secondo

#### 4. QUADRO NORMATIVO

La prima norma sismica varata in Italia è stata la n°64 del 1974 seguita da numerosi Decreti Ministeriali attuativi ad essa successivi. I Decreti Ministeriali sono stati continuamente aggiornati (solitamente sempre in seguito ad un catastrofico evento sismico che ha colpito il territorio nazionale) fino al 1996.

In tale anno vi fu un'inaspettata azione virtuosa del legislatore che intervenne pur non essendo avvenuto alcun evento.

Per quanto riguarda l'Ordinanza del 2003 essa ebbe un'origine piuttosto singolare: fu infatti emanata dalla Protezione Civile in seguito al terremoto di San Giuliano di Puglia. Essa generò nel 2008 la completa Norma Tecnica a cui fare riferimento.

Mentre con la vecchia normativa sismica  $\frac{3}{4}$  del territorio nazionale era dichiarato sismico, con l'Ordinanza 2003 è diventato il 90-92%.

Considerando gli eventi sismici del passato nel territorio italiano (1908 Messina, 1915 Avezzano, 1976 Friuli, 1980 Irpinia, 2002 Faenza, 2004 Monghidoro) si desume che tutta la penisola italiana sia effettivamente di vocazione sismica.

I danni dipendono non tanto dall'intensità, ma soprattutto dalla modalità di costruzione.

#### **4.1.DM 16-01-1996**

- **Casi in cui vi è l'obbligo di adeguamento:**

Si definisce intervento di adeguamento l'esecuzione di un complesso di opere sufficienti per rendere l'edificio atto a resistere alle azioni sismiche definite ai punti C.9.5.3., C.9.6.3. e C.9.7.3.

È fatto obbligo di procedere all'adeguamento a chiunque intenda:

a) **sopraelevare o ampliare l'edificio.**

Si intende per ampliamento la sopraelevazione di parti dell'edificio di altezza inferiore a quella massima dell'edificio stesso.

b) **apportare variazioni di destinazione che comportino, nelle strutture interessate dall'intervento, incrementi dei carichi originari (permanententi e accidentali) superiori al 20%;**

c) **effettuare interventi strutturali rivolti a trasformare l'edificio mediante un insieme sistematico di opere che portino ad un organismo edilizio diverso dal precedente;**

d) **effettuare interventi strutturali rivolti ad eseguire opere e modifiche per innovare e sostituire parti strutturali dell'edificio, allorché detti interventi implicino sostanziali alterazioni del comportamento globale dell'edificio stesso.**

Le sopraelevazioni, nonché gli interventi che comportano un aumento del numero dei piani, sono ammissibili esclusivamente ove siano compatibili con le larghezze delle strade su cui prospettano; è altresì ammissibile una variazione di altezza, senza il rispetto delle norme di cui ai punti C.2. e C.3 (riguardano le limitazioni di altezza per gli edifici nuovi). qualora sia necessaria per l'abitabilità degli ambienti, a norma dei regolamenti edilizi, sempre che resti immutato il numero dei piani.

- **Prescrizioni per intervento di miglioramento:**

È fatto obbligo di eseguire interventi di miglioramento a chiunque intenda effettuare interventi locali volti a rinnovare o sostituire elementi strutturali dell'edificio.

Tale tipologia d'intervento si applica, in particolare, al caso degli edifici di carattere monumentale, di cui all'art. 16 della *legge 2 febbraio 1974, n. 64*, in quanto compatibile con le esigenze di tutela e di conservazione del bene culturale.

Nel caso di interventi di miglioramento il progetto deve contenere la planimetria, piante, sezioni, particolari esecutivi e relazione tecnica limitatamente alle opere interessate.

Nella relazione tecnica deve essere dimostrato che gli interventi progettati non producano sostanziali modifiche nel comportamento strutturale globale dell'edificio.

**Operazioni progettuali.**

Il progetto di un intervento su di un edificio è basato sulle seguenti operazioni:

- a) individuazione dello schema strutturale nella situazione esistente;
- b) valutazione delle condizioni di sicurezza attuale dell'edificio e delle caratteristiche di resistenza degli elementi strutturali interessati dagli interventi, avuto riguardo alla eventuale degradazione dei materiali e ad eventuali dissesti in atto;
- c) scelta progettuale dei provvedimenti di intervento operata sulla base degli elementi come sopra determinati;

I criteri adottati nella scelta del tipo di intervento devono scaturire da uno studio preliminare dell'organismo edilizio riguardante in particolare:

- a) le caratteristiche, nella situazione esistente, sotto il profilo architettonico, strutturale e della destinazione d'uso;
- b) l'evoluzione storica delle predette caratteristiche con particolare riferimento all'impianto edilizio originario ed alle principali modificazioni intervenute nel tempo;

**c) l'analisi globale del comportamento strutturale al fine di accertare le cause ed il meccanismo di eventuali dissesti in atto.**

**I provvedimenti tecnici per interventi di adeguamento o di miglioramento antisismico possono ottenersi sia mediante la riduzione degli effetti delle azioni sismiche, sia mediante l'aumento della resistenza dell'organismo edilizio, o di sue parti, a tali azioni.**

**Provvedimenti tecnici devono altresì essere adottati per consolidare, e se del caso eliminare, elementi non strutturali il cui eventuale crollo possa causare vittime o danni.**

**Nel caso di complessi edilizi privi di giunti tra gli edifici, il progetto esecutivo dell'intervento deve documentare la situazione statica degli edifici contigui, a dimostrazione che gli interventi previsti non arrechino aggravii a tale situazione.**

- **Prescrizioni per intervento di adeguamento:**

- a) **individuazione dello schema strutturale nella situazione esistente;**
- b) **valutazione delle condizioni di sicurezza attuale dell'edificio e delle caratteristiche di resistenza degli elementi strutturali interessati dagli interventi, avuto riguardo alla eventuale degradazione dei materiali e ad eventuali dissesti in atto;**
- c) **scelta progettuale dei provvedimenti di intervento operata sulla base degli elementi come sopra determinati;**
- d) **verifica sismica, se necessaria (può essere omessa e sostituita da una specifica ed adeguata relazione tecnica per gli edifici in muratura ordinaria che allo stato di fatto o dopo l'avvenuta esecuzione delle opere di rinforzo eventualmente progettate, posseggano i requisiti costruttivi di cui ai punti C.5.1. e C.5.2)**

**Verifica sismica:**

- **modellazione struttura**  
**(Per la valutazione delle azioni sismiche complanari alle pareti si prende in esame l'edificio nella sua interezza, con i collegamenti operati dai solai in**

quanto a tale scopo efficaci, considerando la forza orizzontale di calcolo applicata nel baricentro delle masse presenti).

- **Analisi dei materiali**

(La resistenza della muratura è calcolata in relazione alla tipologia, alla qualità ed allo stato di conservazione del sistema murario)

- **Azioni sismiche**

Si considerano le azioni sismiche definite al punto C.6. per le nuove costruzioni, ed assumendo, per il coefficiente di struttura, il valore  $\beta = \beta_1 \cdot \beta_2$  ove si attribuiscono i seguenti valori:  $\beta_1 = 2$ ,  $\beta_2 = 2$

- **Analisi degli effetti sismici: analisi statica;**

**Analisi dinamica.**

- **Verifiche degli stati tensionali: alle tensioni ammissibili;**

**agli stati limite ultimi.**

- **Verifiche degli stati deformativi**

- **Verifiche in fondazione**

Possono essere omesse se sono verificate contemporaneamente alcune ipotesi tali da garantirne la sicurezza.

- **Collaudo**

Il collaudo, da eseguirsi preferibilmente in corso d'opera, deve tendere ad accertare sostanzialmente che la realizzazione degli interventi sia avvenuta conformemente alle prescrizioni progettuali e nel rispetto delle finalità indicate dal progetto.

#### **4.2. Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri N. 3274 del 20 Marzo 2003**

- **Casi in cui vi è l'obbligo di adeguamento:**

**È fatto obbligo eseguire valutazioni di sicurezza sismica e, qualora ne sia verificata la necessità, di effettuare interventi di adeguamento, in accordo con le presenti norme, a chiunque intenda:**

- a) sopraelevare o ampliare l'edificio (s'intende per ampliamento la sopraelevazione di parti dell'edificio di altezza inferiore a quella massima dell'edificio stesso);
- b) apportare variazioni di destinazione che comportino, nelle strutture interessate dall'intervento, incrementi dei carichi originari (permanenti e accidentali combinati con i coefficienti  $\psi_{2i}$  di tabella 3.4) al singolo piano superiori al 20%;
- c) effettuare interventi strutturali volti a trasformare l'edificio mediante un insieme sistematico di opere che portino ad un organismo edilizio diverso dal precedente;
- d) effettuare interventi strutturali rivolti ad eseguire opere e modifiche, rinnovare e sostituire parti strutturali dell'edificio, allorché detti interventi implicino sostanziali alterazioni del comportamento globale dell'edificio stesso.

Una variazione dell'altezza dell'edificio, resa necessaria per l'abitabilità degli ambienti, a norma dei regolamenti edilizi, sempre che resti immutato il numero di piani, non deve essere considerata sopraelevazione o ampliamento; in tal caso non è obbligatorio l'intervento di adeguamento sismico, sempre che non ricorra nessuna delle altre tre condizioni elencate ai punti b), c) e d) precedenti. In particolare occorrerà documentare che gli interventi conseguenti alla variazione di altezza non abbiano portato ad un incremento dei carichi superiore al 20% e siano comunque in grado di far conseguire all'edificio un maggior grado di sicurezza rispetto alle azioni sismiche.

Le sopraelevazioni nonché gli interventi che comportano un aumento del numero di piani sono ammissibili solamente ove siano compatibili con gli strumenti urbanistici.

- **Prescrizioni per intervento di miglioramento:**

Qualora si intenda effettuare interventi di tipo strutturale su singoli elementi di fabbrica, se non sussistono le condizioni che impongono l'adeguamento sismico, è consentito procedere senza dar luogo alle analisi e verifiche di cui al presente capitolo, a condizione che si dimostri che l'insieme delle opere previste è comunque

tale da far conseguire all'edificio un maggior grado di sicurezza nei confronti delle azioni sismiche. Tali interventi sono definiti di miglioramento sismico.

Le Regioni possono, tenuto conto della specificità delle tipologie costruttive del proprio territorio, consentire, per gli interventi di adeguamento, un miglioramento controllato della vulnerabilità, riducendo i livelli di protezione sismica fino al 65% del livello previsto per le nuove costruzioni e quindi l'entità delle azioni sismiche da considerare per i diversi stati limite, nonché il numero degli stati limite da considerare.

Per i beni culturali tutelati è in ogni caso possibile limitarsi ad interventi di miglioramento, secondo quanto disposto al comma 4), art. 29 del decreto legislativo n. 42/2004, "Codice dei beni Culturali e del Paesaggio", è peraltro comunque richiesto di calcolare i livelli di accelerazione del suolo corrispondenti al raggiungimento di ciascuno stato limite previsto per la tipologia strutturale dell'edificio, nella situazione precedente e nella situazione successiva all'eventuale intervento.

- **Prescrizioni per intervento di adeguamento:**

- a) **Identificazione livello di conoscenza attraverso le seguenti fasi:**

- rilievo geometrico: **Rilievo sommario**

- Rilievo completo**

- Rilievo dettagli costruttivi: **Verifiche in-situ limitate**

- Verifiche in-situ esaustive**

- caratterizzazione materiali: **Verifiche in-situ limitate**

- Verifiche in-situ estese**

- Verifiche in-situ esaustive**

- b) **Definizione dei coefficienti parziali di sicurezza desunti dal livello di conoscenza raggiunto.**

- c) **Definizione del fattore di importanza dell'immobile.**

- d) **Definizione delle azioni del sisma come per le nuove costruzioni.**

**Data la categoria del suolo di fondazione e la zona sismica in cui si trova l'edificio si può definire lo spettro di risposta elastico, che è il modello di riferimento per la descrizione del moto sismico.**

**e) Modellazione della struttura**

**Se i diaframmi orizzontali sono sufficientemente rigidi i gradi di libertà possono essere ridotti a tre per piano.**

**Valgono i principi di regolarità della struttura, nel caso la struttura sia regolare in pianta si possono considerare due modelli piani separati per le due direzioni principali.**

**f) Analisi sismica**

**Si possono adottare analisi statiche o dinamiche , lineari o non lineari, secondo le prescrizioni per le nuove costruzioni.**

**g) Verifiche di sicurezza**

**vanno condotte nei confronti degli SLU e degli SLD.**

**Nel caso di analisi lineare, la resistenza di ogni elemento strutturale dovrà risultare maggiore dell'azione agente per ciascuna delle seguenti modalità di collasso: pressoflessione, taglio e pressoflessione fuori dal piano.**

**Indicazioni generali:**

**La trasformazione di solai flessibili in solai rigidi comporta una diversa distribuzione delle azioni agenti sulle pareti, che può rilevarsi favorevole o sfavorevole in funzione della geometria della struttura.**

**Sono opportuni interventi atti a migliorare la capacità deformativa di singoli elementi.**

**E' necessario verificare che l'introduzione di rinforzi locali non diminuisca la duttilità globale della struttura.**

**Si prende in considerazione la limitazione o il cambiamento di destinazione d'uso dell'edificio.**

### **4.3. Norme Tecniche per le Costruzioni 2008**

- **Casi in cui vi è l'obbligo di adeguamento:**

**È fatto obbligo di procedere alla valutazione della sicurezza e, qualora necessario, all'adeguamento**

**della costruzione, a chiunque intenda:**

**a) sopraelevare la costruzione;**

**b) ampliare la costruzione mediante opere strutturalmente connesse alla costruzione;**

**c) apportare variazioni di classe e/o di destinazione d'uso che comportino incrementi dei carichi**

**globali in fondazione superiori al 10%; resta comunque fermo l'obbligo di procedere alla**

**verifica locale delle singole parti e/o elementi della struttura, anche se interessano porzioni imitate della costruzione;**

**d) effettuare interventi strutturali volti a trasformare la costruzione mediante un insieme sistematico di opere che portino ad un organismo edilizio diverso dal precedente.**

**In ogni caso, il progetto dovrà essere riferito all'intera costruzione e dovrà riportare le verifiche dell'intera struttura post-intervento, secondo le indicazioni del presente capitolo.**

**Una variazione dell'altezza dell'edificio, per la realizzazione di cordoli sommitali, sempre che resti immutato il numero di piani, non è considerata sopraelevazione o ampliamento, ai sensi dei punti a) e b). In tal caso non è necessario procedere all'adeguamento, salvo che non ricorrano le condizioni di cui ai precedenti punti c) o d).**

- **Prescrizioni per intervento di adeguamento:**

Sia per un intervento di miglioramento che di adeguamento il progetto deve comprendere:

- Verifica della struttura prima dell'intervento ed individuazione dell'intensità sismica che porta al raggiungimento dello SLU (e dello SLD se richiesto)**
- Scelta motivata intervento**
- Scelta tecniche e/o dei materiali**
- Dimensionamento preliminare dei rinforzi e degli eventuali elementi strutturali aggiuntivi**
- Analisi strutturale considerando le caratteristiche della struttura post intervento**
- Verifica della struttura post intervento ed individuazione dell'intensità sismica che porta al raggiungimento dello SLU (e dello SLD se richiesto)**

**Verifica della struttura:**

- Analisi storico critica**
- Individuazione US (unità strutturale)**
- Identificazione livello di conoscenza attraverso le seguenti fasi:**

**-rilievo geometrico**

**-Rilievo dettagli costruttivi: Verifiche in-situ limitate**

**Verifiche in-situ esaustive**

**-caratterizzazione materiali: Verifiche in-situ limitate**

**Verifiche in-situ estese**

**Verifiche in-situ esaustive**

- Definizione dei fattori di confidenza dati dal livello di conoscenza raggiunto.**

**Resistenza e modulo elastico dei materiali vengono assegnati tramite una tabella tenendo conto del livello di conoscenza ottenuto e delle prove di resistenza effettuate.**

- e) **Definizione delle azioni del sisma come per le nuove costruzioni. Per i carichi permanenti, un accurato rilievo geometrico-strutturale e dei materiali potrà consentire di adottare coefficienti parziali modificati**

**Per aggregati edilizi:**

**Analisi semplificata anche per edifici di più di due piani posso utilizzare l'analisi statica non lineare analizzando e verificando separatamente ciascun interpiano dell'edificio, e trascurando la variazione della forza assiale nei maschi murari dovuta all'effetto dell'azione sismica (vedi Bozza di Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le Costruzioni, par C8C.1 )**

**Per edifici isolati:**

**Analisi dei meccanismi locali di danno tramite un'analisi limite all'equilibrio (può essere un'analisi cinematica lineare o non lineare da cui si ottiene una curva di capacità);**

- f) **Analisi sismica globale che deve considerare, per quanto possibile, il sistema strutturale reale della costruzione, con particolare attenzione alla rigidezza e resistenza dei solai, e all'efficacia dei collegamenti degli elementi strutturali**
- g) **Verifiche vanno condotte nei confronti degli SLU, eventualmente se richieste agli SLD**

#### **4.4.2008 (Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri per la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni)**

**Per i beni culturali tutelati è in ogni caso necessario attenersi ad interventi di miglioramento.**

**Verifiche per intervento di miglioramento:**

**Valutazione sicurezza attuale (anche mediante valutazioni qualitative)**

**Valutazione dell'indice di sicurezza raggiungibile**

**Nel caso questo sia inferiore all'indice auspicato posso avere due casi:**

**Modello poco affidabile** la costruzione potrebbe risultare adeguata a resistere alle sollecitazioni richieste a seguito di valutazioni qualitative

**Modello affidabile** coerentemente con i principi di miglioramento sismico posso derogare all' adeguamento adottando una serie di interventi compatibili con la conservazione del bene.

**Definisco il livello di valutazione a seconda del tipo di intervento:**

**LV2** per interventi locali (in questo caso la valutazione dell'accelerazione di collasso si può eseguire con gli strumenti del livello LV1)

**LV3** per interventi globali ( si possono utilizzare i modelli locali del LV2, ma vanno generalizzati all'intero edificio, oppure un modello globale qualora si attendibile)

**Livelli di protezione**

**Variano da edificio a edificio, bisogna valutare la categoria di rilevanza (3 categorie) e quella d'uso (3 categorie).**

**Determinazione del fattore di confidenza.**

**Tiene conto del livello di approfondimento delle indagini sul manufatto.**

**Modello di calcolo:**

**Si differenzia a seconda del tipo di intervento**

**Per intervento locale il modello deve rappresentare i meccanismi locali di collasso su singole porzioni di fabbricato.**

**Per interventi globali i modelli devono rappresentare i meccanismi locali di collasso esaustivi e il comportamento globale del fabbricato.**

**Definizione dell'indice di sicurezza sismica.**

**Dal confronto tra l'azione sismica e la capacità sismica del manufatto. E' utile per dare un giudizio qualitativo complessivo, che consideri le esigenze di conservazione, la volontà di preservare il manufatto da danni sismici ed i requisiti di sicurezza a seconda della destinazione d'uso.**

## **4.5. Considerazioni**

Le nuove norme tecniche 2008 per quanto riguarda le costruzioni esistenti hanno un approccio decisamente prestazionale (più attento a definire le ``prestazioni`` che deve avere l'edificio piuttosto che a fornire le regole di applicazione da rispettare nella progettazione).

La circolare, viceversa, contiene una serie di procedure e regole di dettaglio sugli aspetti più innovativi quali ad esempio: la valutazione delle proprietà meccaniche delle murature a partire dalla tipologia muraria, l'individuazione degli aggregati edilizi e delle unità strutturali sulle quali eseguire le verifiche, le tipologie di intervento e di analisi nel consolidamento delle strutture murarie.

Sicuramente queste norme costituiscono un passo avanti per la verifica delle costruzioni esistenti, appare inoltre significativo l'approccio della "Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri per la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni" che prevede la possibilità di effettuare anche valutazioni qualitative in seguito alla valutazione dell'indice di sicurezza raggiungibile.

Questo consente di prendere in considerazione una serie di valutazioni difficilmente definibili in una modellazione strutturale, specialmente per quanto riguarda edifici in aggregato.

Inoltre per i beni culturali è sempre comunque possibile derogare ai limiti di sicurezza imposti da un intervento di adeguamento al fine di eseguire interventi compatibili con la conservazione del bene.

Anche in questo caso appare importante il recepimento da parte della normativa della difficoltà di adeguare edifici storici ai limiti imposti per le nuove costruzioni. Sarebbe apprezzabile l'estensione di questo tipo di approccio a tutti gli edifici dei centri storici che siano rappresentativi delle metodologie costruttive tradizionali della località.

## **5. Pericolosità sismica del territorio**



*Figura 1: Classificazione sismica del territorio italiano (1984). Decreto MLP del 14/07/1984 e decreti successivi.*

*Figura 2: Proposta di riclassificazione sismica del territorio italiano (1998) a cura del Gruppo di Lavoro ING-GNDT-SSN costituito dalla Commissione Nazionale di Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi.*

*Figura 3: Zone sismiche del territorio italiano (2003). Ordinanza PCM 3274 del 20/03/2003.*

*Figura 4: Zone sismiche del territorio italiano con recepimento delle variazioni operate dalle singole Regioni (fino a marzo 2004).*

La nuova normativa (2008) mette di fatto fine al sistema della “*classificazione sismica*” per quel che riguarda l’input per la definizione degli spettri di progetto. Siamo passati da 4 zone a più di 11.000 punti, ciascuno dei quali ha il suo specifico spettro.

Le zone sismiche tradizionali sopravvivono solo per scopi amministrativi, e per la 4° categoria.

## **5.2.Zona sismica di Castel Bolognese**

Secondo l’ordinanza 3274 del 2003 Castel Bolognese rientra in zona 2, per cui è caratterizzata da un’accelerazione convenzionale massima orizzontale su suolo di categoria A ag di 0,25g

Secondo le NTC 2008 l’accelerazione al suolo, calcolata col programma distribuito da consiglio superiore dei lavori pubblici, passa a  $ag = 0,205$

## **5.3.Terremoti nella storia di Castel Bolognese**

### **5.3.1. Scala MCS descrizione degli effetti**

I Non percepito salvo che in casi particolari; animali inquieti; fronde che stormiscono; porte e lampadari che oscillano.

- II** Percepito solo da persone sdraiate, soprattutto ai piani alti degli edifici.
- III** Percepito in casa; la maggioranza però non riconosce il terremoto; tremito simile a quello dovuto al passaggio di un carro leggero; la durata della scossa può essere valutata.
- IV** Finestre, piatti e porte vibrano; i muri scricchiolano; vibrazione simile a quella dovuta al passaggio di carri pesanti; percepito da molti in casa, da pochi all'esterno.
- V** Percepito quasi da tutti; molti vengono svegliati; oggetti instabili possono cadere; gli intonaci possono rompersi.
- VI** Percepito da tutti; mobili pesanti vengono rimossi; i libri cadono ed i quadri si staccano dal muro; le campane suonano; danni occasionali ai camini; danni strutturali minimi.
- VII** Panico; difficoltà a conservare la posizione eretta; percepito anche dagli automobilisti; danni minimi agli edifici di buona fattura; danni considerevoli agli altri; onde nei laghi e negli stagni.
- VIII** Disturba la guida di autoveicoli; la struttura degli edifici è interessata fino alle fondamenta, muri di separazione abbattuti; i camini vibrano o cadono; danni lievi solo alle costruzioni antisismiche; i mobili pesanti vengono rovesciati.
- IX** Panico generale; danni considerevoli anche alle costruzioni antisismiche; caduta di edifici; danni seri ai bacini ed alle tubazioni sotterranee; ampie fratture nel terreno.
- X** La maggior parte delle opere in muratura è distrutta, compresi anche gli edifici antisismici; rotaie deformate debolmente; grandi frane.
- XI** Poche case rimangono in piedi; i ponti distrutti; ampie fessure nel terreno; rotaie fortemente piegate.
- XII** Distruzione totale; gli oggetti sono addirittura proiettati in aria.

### **5.3.2. Cronologia dei terremoti in Castel Bolognese**

In riferimento a ricerche storico-bibliografiche è stato costruito un elenco cronologico degli eventi sismici che hanno interessato Castel Bolognese fino al XIII secolo.

Per ovvie ragioni, non è facile trovare documentazione riguardante gli effetti dei terremoti, nel comune di Castel Bolognese, tuttavia, data la vicinanza con le città di Faenza e Imola si possono considerare simili i danni arrecati dal sisma sulle abitazioni.

La lista che segue elenca solo alcuni dei terremoti che sono stati registrati e di cui se ne ha memoria già dal XII secolo, i terremoti sotto elencati sono quelli che hanno causato i maggiori danni, ma molti altri si sono verificati.

- 1279 30 aprile V-VI grado MCS
- 1428 3 luglio VI-VII grado
- 1509 19 aprile VII grado
- 1542 13 giugno VI grado
- 1584 12 settembre VI-VII grado
- 1624 18 marzo V-VI grado
- 1688 11 aprile VII-VIII grado
- 1732 9 agosto VI grado
- 1751 27 luglio VI grado
- 1781 4 aprile VII grado epicentro Faentino (XI grado)
- 1781 3 giugno VI grado
- 1781 17 luglio VI grado epicentro Faentino (VIII grado)
- 1813 21 settembre VI grado epicentro Faenza (VII grado)
- 1837 11 aprile V-VI grado
- 1854 16 giugno VI grado
- 1870 30 ottobre IV grado epicentro Meldola (VIII grado)
- 1875 17 marzo VI grado epicentro Rimini (VIII grado)
- 1909 13 gennaio V grado epicentro bassa padana (VI-VII grado)
- 1911 19 febbraio V grado epicentro Forlivese (VII-VIII grado)

- 1920 7 settembre V-VI grado
- 1935 5 giugno VI grado epicentro Faentino (VI grado)

Storicamente Castel Bolognese non ha mai subito gravi danni dovuti a scosse sismiche: L'evento più rilevante è stato il terremoto del 1781 che colpì il Faentino con uno sciame sismico che si protrasse per diversi mesi. Anche in quell'occasione non si rilevarono danni ingenti, se non alla chiesa di San Petronio resa inagibile e successivamente demolita per essere ricostruita più ampia.

### 5.3.3. Breve storia di Sant'Emidio da Ascoli: protettore dai terremoti e co-patrono di Castel Bolognese

Sant'Emidio è un martire d'origini tedesche vissuto nel IV secolo. Lasciata la natia città di Treviri per sottrarsi alle persecuzioni, si rifugiò a Milano ove fu ordinato sacerdote dal vescovo S. Materno. Mosse quindi per Roma, dove ricevette la consacrazione episcopale dal papa che lo inviò ad Ascoli Piceno. Qui convertì molti pagani e fu decapitato nel 303. Del santo si cominciano tuttavia ad avere notizie solo nel secolo XI in un documento ove si accenna alla Cattedrale di Ascoli sotto il titolo della B. V. Maria e Sant'Emidio martire. Probabilmente la doppia intitolazione sarebbe dovuta al fatto del ritrovamento in città, tra il 996 ed il 1052, delle ossa del Santo ed alla errata convinzione che egli fosse stato protovescovo della città. Ascoli da allora ne celebra con solennità la festa il 5 agosto ed a lui si rivolsero in ringraziamento gli ascolani rimasti illesi dopo il terremoto che nel 1703



sconvolse le Marche. Da quella data si cercò, anche con l'autorità dell'Arcivescovo di Treviri, di estenderne il culto altrove, quale protettore dai terremoti. Contemporaneamente si diffuse l'iconografia che rappresenta il Santo in atto di sostenere un muro barcollante sotto l'impeto delle scosse telluriche. Il suo corpo riposa nella cripta della Cattedrale di Ascoli. Lo sciame sismico che ha colpito la nostra città e parte della Romagna nel 2000, mi offre lo spunto per ricordare questo Santo Martire che Castel Bolognese annovera tra i suoi protettori ed al quale è dedicato un altare, quello centrale della navata sinistra, nella chiesa di San Petronio. Il motivo di questo singolare culto è dovuto, manco a dirlo, ad un evento sismico: quello che colpì Castel Bolognese nella sera del 4 aprile 1781. Questo sommovimento tellurico è il più grave che la storia cittadina ricordi; esso, tuttavia, non provocò danni catastrofici, salvo vaste crepe in alcune chiese (specialmente quella del Suffragio), il danneggiamento della cupola e del campanile di San Francesco, il crollo di alcuni tetti di abitazioni, e rese inservibile la chiesa di San Petronio, per cui la comunità, piuttosto che ripararla, dal momento che da tempo v'era il desiderio di avere una chiesa più capiente, decise di atterrarla e di ricostruirla nelle forme che attualmente vediamo. Non così il suo campanile, che ebbe solo danni alla guglia: soltanto la furia bellica ne ebbe la meglio il 24 dicembre 1944. Sopra i danni al campanile, l'Emiliani ricorda che la guglia era talmente collabente da rischiare di cadere sulle maestranze addette alla sua demolizione, tanto che "nessun capo mastro del paese ebbe l'ardire di accingersi a tal opera pericolosa; ma don Giulio Ortolani, cappellano dell'arciprete con ammirevole coraggio intraprese e compì da solo tale lavoro".

Non si contarono vittime a causa del terremoto. Orbene, in città fino a quell'epoca si soleva recare in processione, quando si verificavano scosse telluriche, l'immagine della Madonna del Rosario, affresco attribuito a Giovanni da Riolo, dapprima conservato nella chiesa del Rosario Vecchio, poi in quella del Rosario Nuovo ed attualmente in San Petronio, nel medesimo altare dedicato a Sant'Emidio, di cui costituisce il sottoquadro. Anche in quella circostanza i castellani organizzarono solenni ringraziamenti per i limitati danni che Castel Bolognese ebbe a subire. Su richiesta dell'Arciprete, dei parroci

del territorio e delle Monache Domenicane, l'immagine mariana fu scoperta ed in offerta la Comunità portò dodici candele da una libbra ciascuna. Inoltre, il Consiglio Comunale avanzò una supplica all'Arciprete ed ai parroci del Vicariato affinché venisse fatto un voto alla Madonna del Rosario. Si stabilì pertanto che a partire dal successivo anno 1772, e per la durata di dieci anni, la sera del 4 aprile si scoprisse l'immagine della Madonna del Rosario fino alla sera del giorno successivo. Alle 21,15 del 4 aprile, in ricordo della scossa tellurica, si sarebbero suonate tutte le campane del Castello e del Vicariato durante la preghiera alla Vergine; la mattina del 5 aprile si sarebbe mossa in processione l'immagine con la partecipazione di tutto il clero del Vicariato, degli Ordini Regolari, delle Confraternite e di numeroso popolo; al suo ritorno l'Arciprete di San Petronio avrebbe celebrato una messa solenne in canto. Nella stessa seduta del 7 giugno 1781 la Comunità stabilì di nominare Sant'Emidio protettore di Castel Bolognese, partecipando alle spese per la sua festa da celebrarsi, come da calendario, il 5 agosto. Da allora, la città si mise sotto la protezione del santo ascolano per scongiurare o limitare gli effetti delle scosse telluriche. Difficile sapere come la Comunità abbia saputo delle doti taumaturgiche di questo Santo: l'evento di Ascoli era infatti alquanto vicino, essendo avvenuto appena ottant'anni prima. E' probabile che qualche sacerdote ovvero Regolare di quelle zone lo abbia fatto conoscere a Castel Bolognese. Nella nuova chiesa di San Petronio, appunto, gli si dedicò un altare, con una bella pala attribuita al lughese Benedetto Del Buono; in essa è rappresentato Sant'Emidio con San Domenico ed un altro Santo Martire. Le tre figure sono in piedi sopra un piedistallo; Sant'Emidio, a sinistra, vestito di abiti episcopali, china lo sguardo verso il popolo orante, mentre la mano sinistra è protesa verso l'alto ad indicare l'immagine della Vergine posta nel sottoquadro; San Domenico, a destra, volge lo sguardo alla Vergine, in segno di orazione; le sue braccia aperte vogliono significare l'offerta a Maria, per mezzo suo, di tutte le preghiere del popolo. Tra i due, in secondo piano, si scorge il terzo santo con le mani incrociate sul petto che reggono la palma del martirio. Dietro le figure una nube avvolge il sottoquadro della B. V. del Rosario; da essa spuntano sulla destra le teste di due angeli. Un terzo angelo è seduto sul piedistallo reggendo con la mano

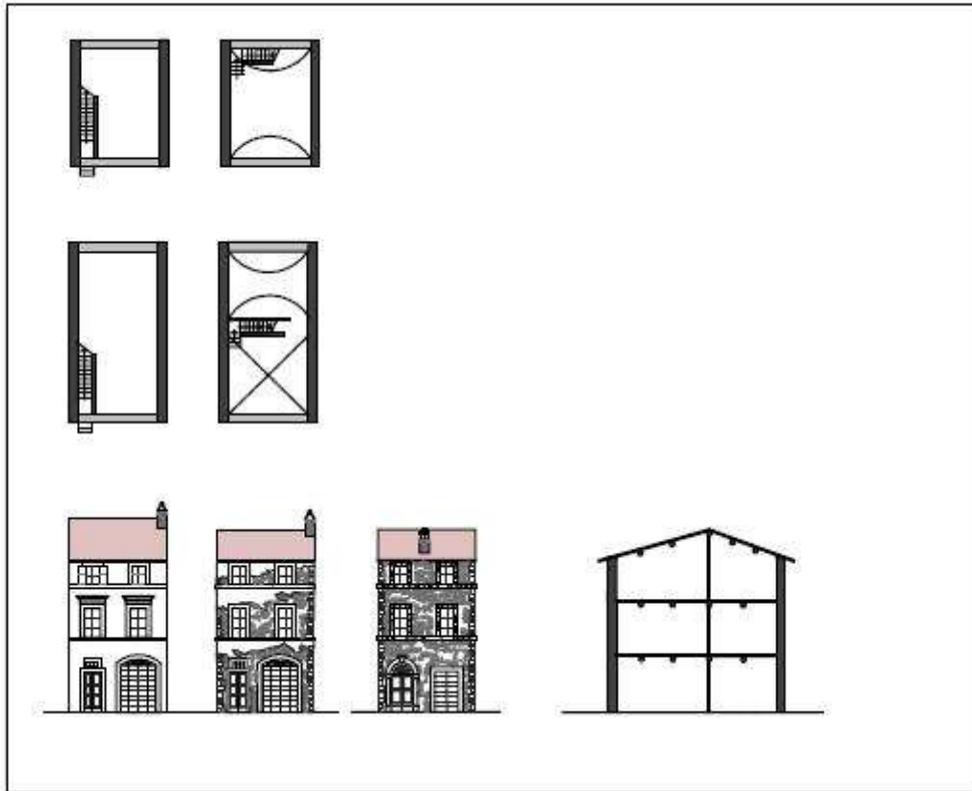
sinistra un cartiglio ove si legge: *Per intercessionem et merita Beati Emygdii Episc.  
& Mart. a flagello terræmotus libera nos Domine.*

## 6. DESCRIZIONE DELLE TIPOLOGIE EDILIZIE

### CASA A SCHIERA UNIFAMILIARE

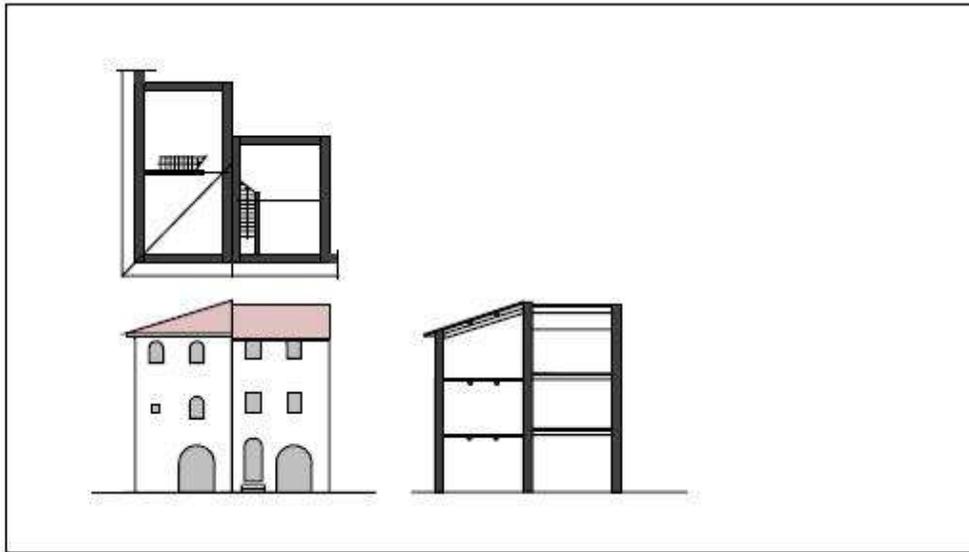
**Caratteri funzionali:** unità edilizia ad uso prevalente di residenza unifamiliare di ceto operaio, artigiano o contadino, in insediamenti urbani o rurali accentrati; deriva dallo sviluppo in profondità o in altezza su due, tre o quattro livelli, della capanna in muratura, con accesso dal prospetto principale allineato lungo la strada, coincidente con il lato lungo

**Caratteri costruttivi:** murature portanti laterali; copertura in legno ad uno o due spioventi, con gronda rivolta verso il prospetto stradale e barcarecci sui muri laterali; solai piano in legno o voltati a botte o a crociera ai piani inferiori; scala laterale ad una rampa o ad angolo, in muratura, legno e muratura, o ad arco rampante.

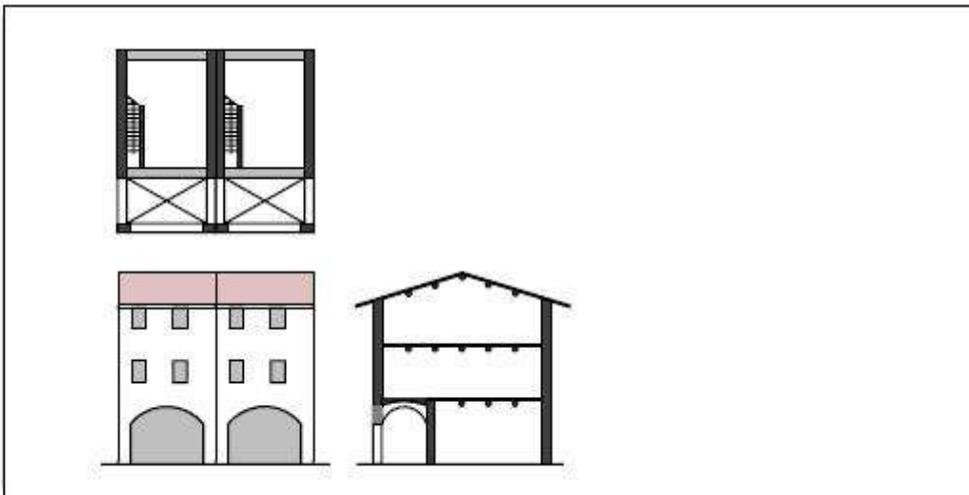


## VARIETA' PARTICOLARI DELLA CASA A SCHIERA

**Unità a schiera d'angolo:** in posizione terminale dell'aggregazione, con due facciate prospicienti lungo la via e coperture a semipadiglione con barcarecci su travi diagonali inclinate.

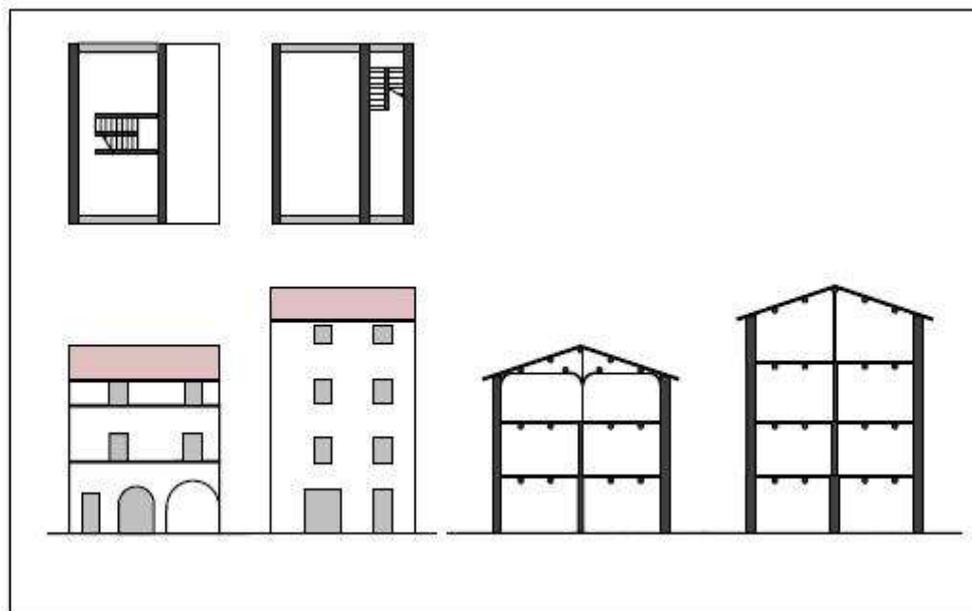


**Unità a schiera con ampliamento frontale porticato o a sbalzo:** con prospetto impostato al piano terra su porticato ad arco o architrave su pilastri in muratura e soprastante solaio piano in legno o voltato a crociera ovvero con sporto formato ad archi pensili su mensole o beccatelli.

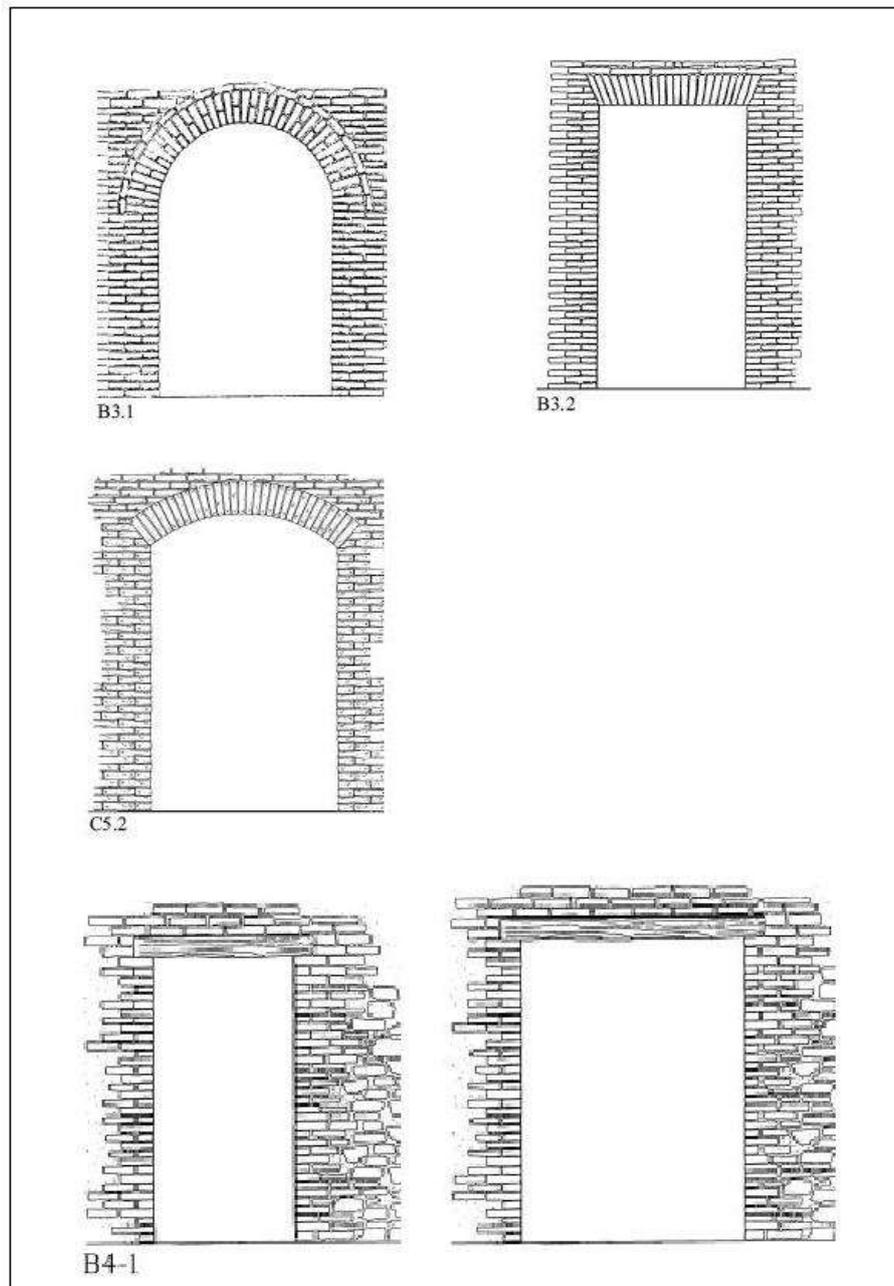


**Unità a schiera con ampliamento laterale:** può avere luogo in un ambito residuo del lotto o mediante cavalcavia gettato sul vincolo adiacente, frutto di ristrutturazioni e ampliamenti in prevalenza d'origine moderna, con finitura al civile o non finita; l'implementazione dell'ambito residuo serve in genere ad ospitare l'androne ed il

**corpo scala in una unità plurifamiliare; i cavalcavia sono realizzati su travi in legno o archi on muratura e solai piani in legno o voltati.**



**APERTURE, VANI E CAVITA' (PORTE)**



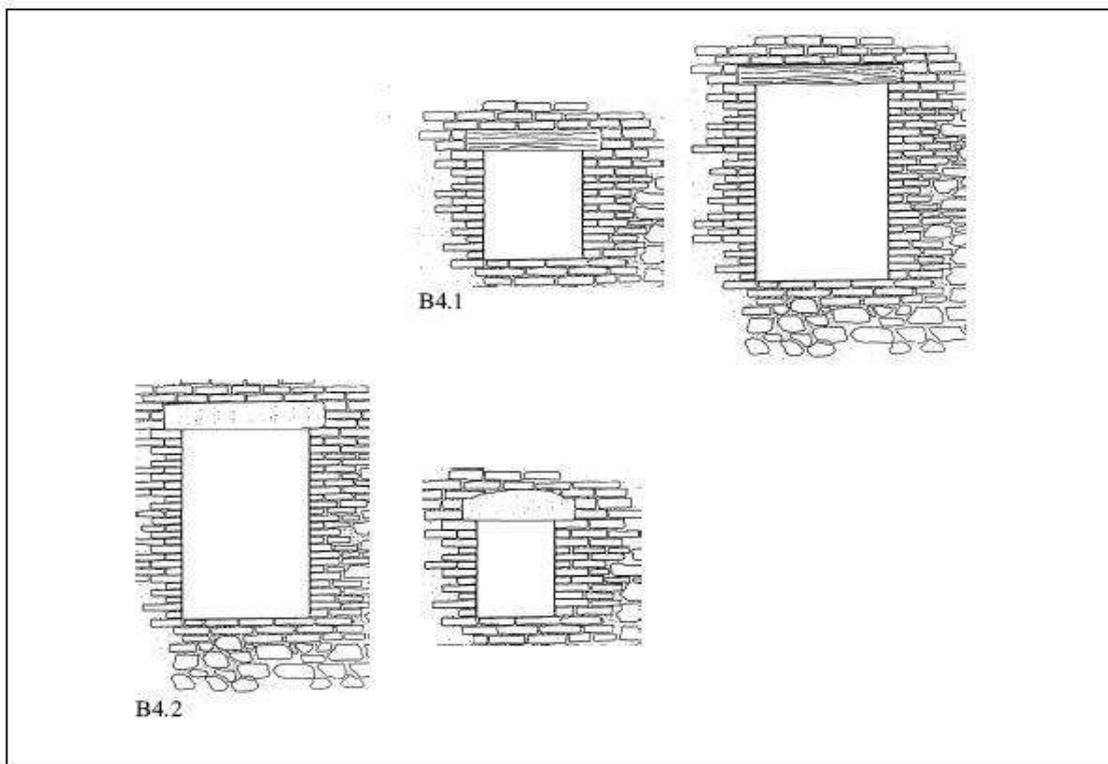
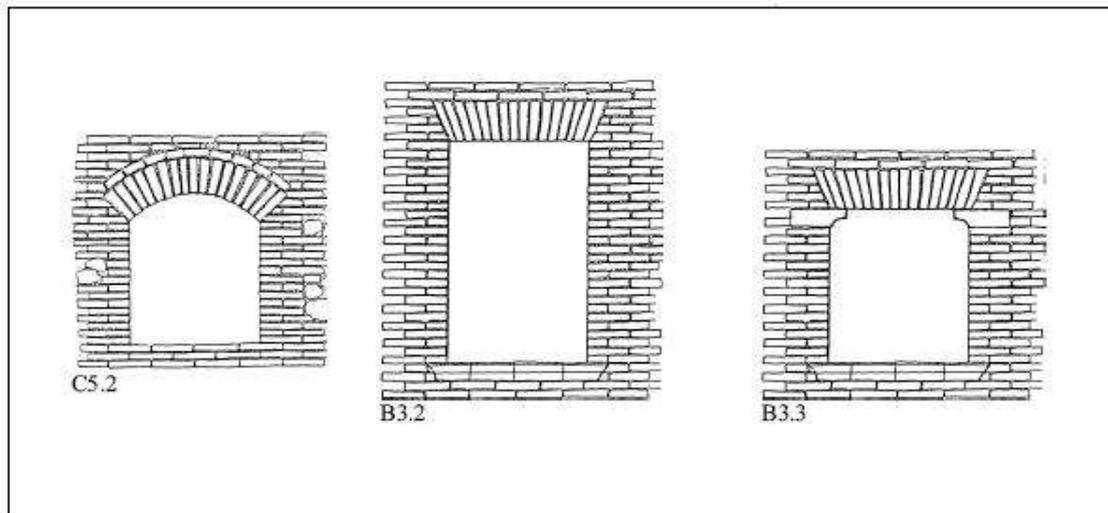
**B3.1 Stipiti e arco in mattoni ordinati o da cortina**

**B3.2 Stipiti e piattabanda in mattoni ordinati o da cortina**

**C5.2 A sesto ribassato non raccordato (arco scemo)**

**B4.1 Stipiti in mattoni grezzi e architrave in legno**

**APERTURE, VANI E CAVITA' (FINESTRE)**



**B3.2 Stipiti e piattabanda in mattoni ordinati o da cortina**

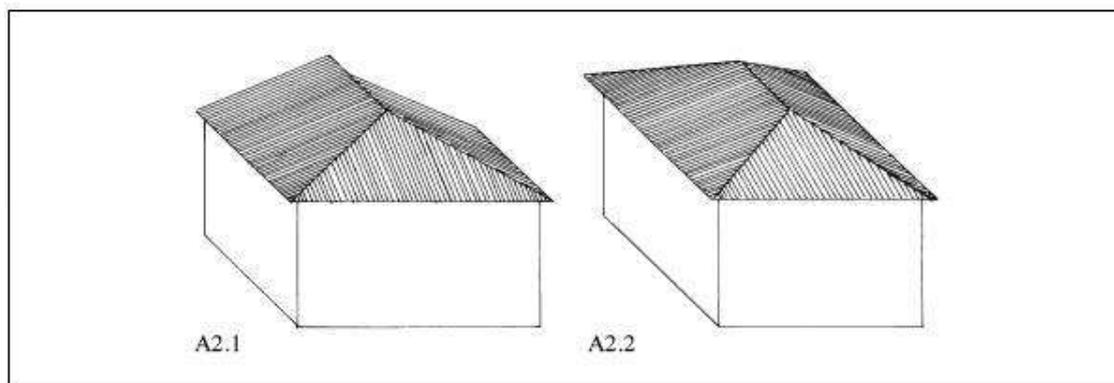
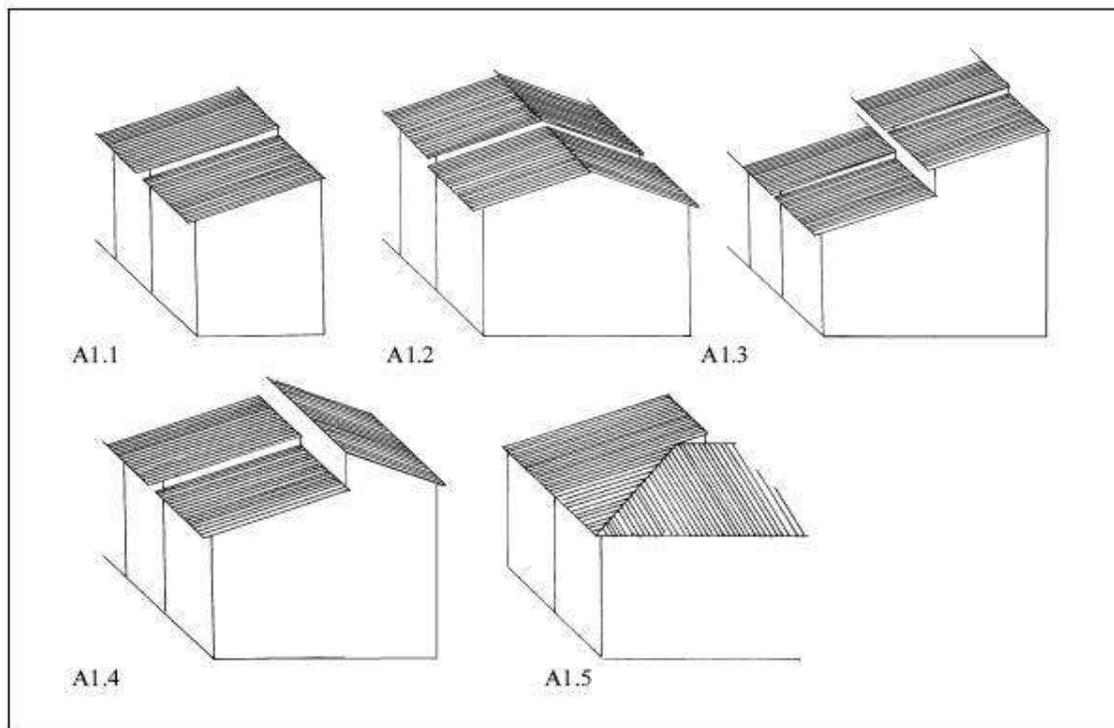
**B3.3 Stipiti e piattabanda con mensole**

**B4.1 Stipiti in mattoni grezzi e architrave in legno**

**B4.2 Stipiti in mattoni grezzi e architrave in pietra**

**C5.2 A sesto ribassato non raccordato (arco scemo)**

**TIPO DI COPERTURE E DISPOSIZIONE DELLE FALDE**



**A1.1 a uno spiovente**

**A1.2 a due spioventi raccordato al colmo**

**A1.3 a due spioventi sfalsati**

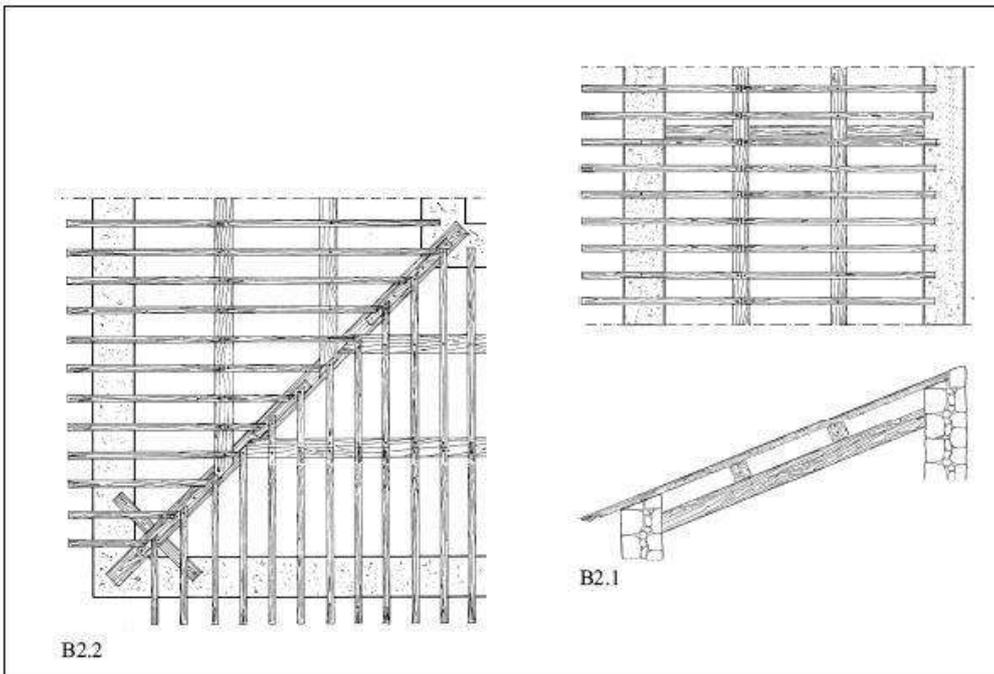
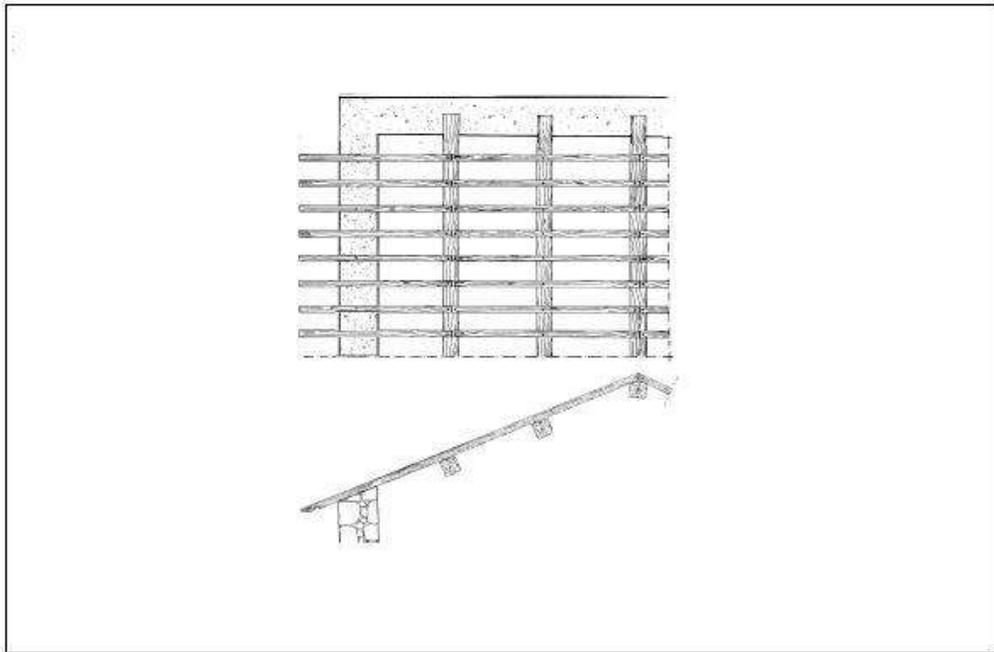
**A1.4 a due spioventi contrapposti**

**A1.5 con raccordo laterale a padiglione**

**A2.1 a padiglione trilatero**

**A2.2 a padiglione quadrilatero**

**SISTEMI COSTRUTTIVI DELLE COPERTURE**



**B1 Orditura principale ad arcarecci su muri laterali**

**B2.1 puntoni ortogonali**

**B2.2 colmarecci diagonali**

## 7. Il tessuto urbano oggetto di studio

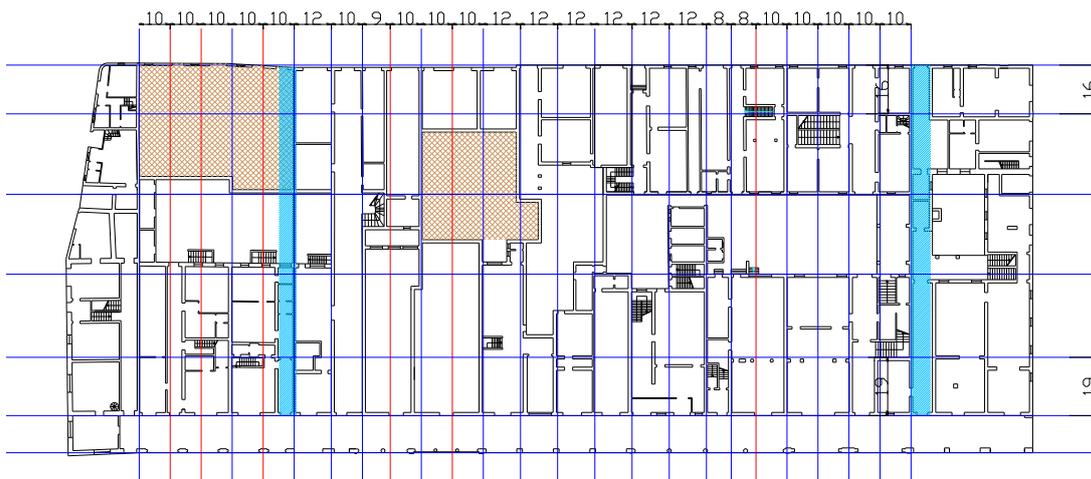
L'esame dell' isolato, a lotto gotico, evidenzia immediatamente profonde modifiche e rimaneggiamenti avvenuti nel corso dei secoli.

Da un attento esame della distribuzione delle murature è stato possibile costruire un'ipotesi di divisione originaria dei lotti.

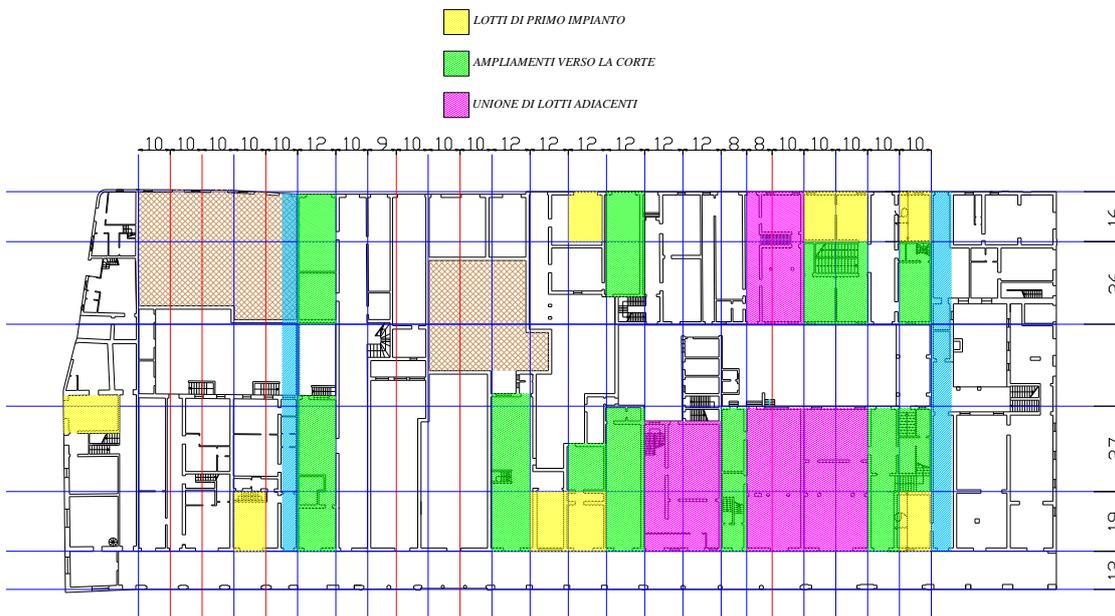
Inizialmente si sono individuati due passaggi che originariamente permettevano di attraversare l'isolato dalla via Emilia a via Rondanini.



Successivamente si sono ricostruite le divisioni originarie dei lotti ed identificati i successivi processi evolutivi.



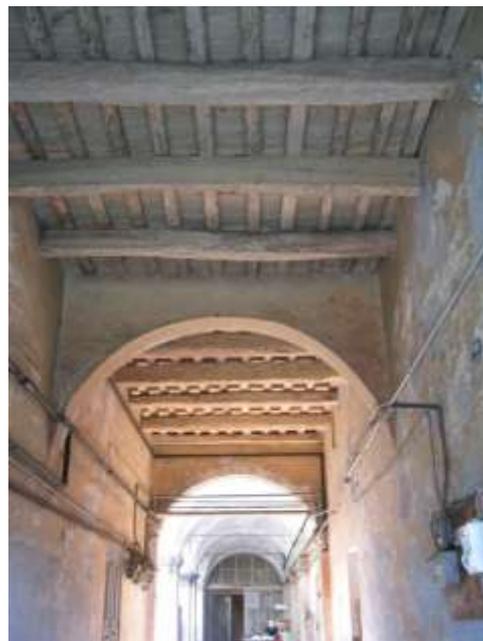
I lotti erano larghi 10 o 12 piedi bolognesi con una profondità di 19 piedi per le unità sulla via Emilia e di 16 per quelle su via Rondanini.



Le suddette unità si sono successivamente ampliate sulla via principale con la formazione del portico e sulla corte interna provocando una via via sempre maggiore saturazione dello spazio.

Inoltre ci sono evidenti esempi di rifusione di più lotti adiacenti che in alcuni casi ha portato all'abbattimento di alcune murature originarie e quindi ad una profonda modificazione dell'organismo edilizio.

Per quanto riguarda il prospetto gli edifici nascono a due piani, anche in questo caso successive modifiche hanno portato a lievi sopraelevazioni con creazione di sottotetti agibili e in alcuni casi alla sostituzione dei solai per ricavare un terzo piano abitabile.



Esempio di modifiche strutturali in seguito all'ampliamento delle unità immobiliari. L'arco che si vede in primo piano è situato dove aveva termine il lotto originario ed è stato realizzato in seguito all'abbattimento della muratura al piano terra al fine di sostenere la muratura ancora oggi presente al piano superiore.

## 8. Materiali

L'isolato preso in considerazione presenta caratteristiche costruttive assimilabili alla maggior parte dell'edilizia storica locale.

Le strutture sono in muratura di mattoni pieni con conci non particolarmente regolari e giunti non particolarmente sottili.

Al piano terra alcuni edifici presentano murature a scarpa sul lato strada realizzate con struttura a sacco.

Gli edifici che si affacciano sulla via principale presentano in generale un solaio a volta per il primo piano e uno in legno per il solaio del sottotetto, quest'ultimo spesso coperto da una controsoffittatura a volta di incannucciato.

Entrambi i tipi di orizzontamento poggiano sulle murature ortogonali alla facciata.

Gli edifici che si affacciano su via Rondanini invece sono caratterizzati da un solaio in legno anche per il primo piano.

In generale tutti i tetti sono a due falde sempre con orditura parallela alla strada, solo negli edifici di testata sono presenti coperture a padiglione.



Esempio di muratura molto rimaneggiata.



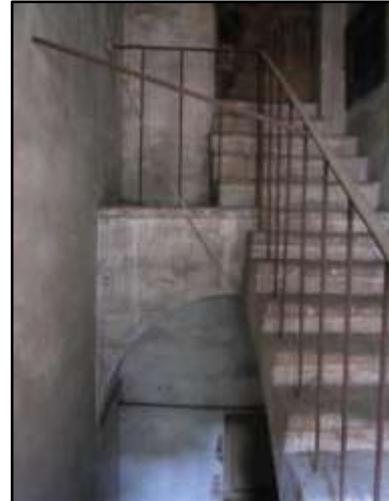
Portico sulla via Emilia.



-  SOLAI A VOLTA
-  SOLAI IN LEGNO
-  SOLAI IN LATERO-CEMENTO
-  SOLAI CON CONTROSOFFITTO



**Copertura in legno.**



**Esempio di scale alla romana.**

## 9. Meccanismi di collasso

## **Abaco meccanismi di collasso**

### **9.0.1. Meccanismi di ribaltamento semplice**

**Il ribaltamento semplice di pareti esterne degli edifici dovute all'azione del sisma rappresenta una situazione di danno tra le più frequenti e pericolose. Questa si schematizza come una rotazione rigida di porzioni di parete attorno ad una cerniera cilindrica orizzontale posta alla base; la rotazione è attivata da sollecitazioni fuori dal piano.**

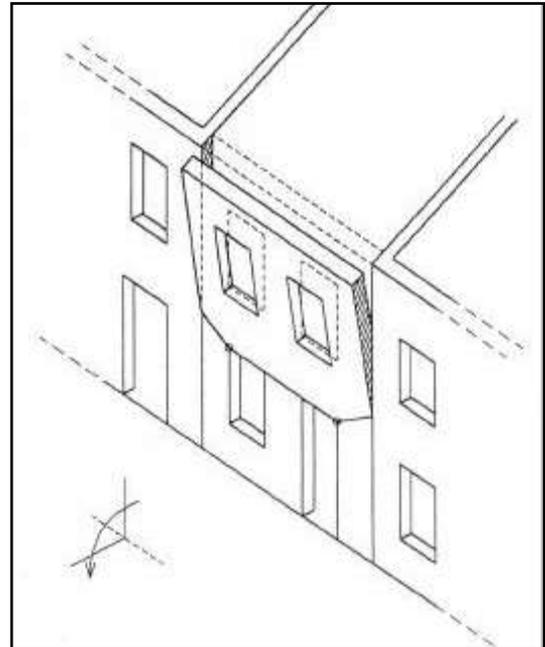
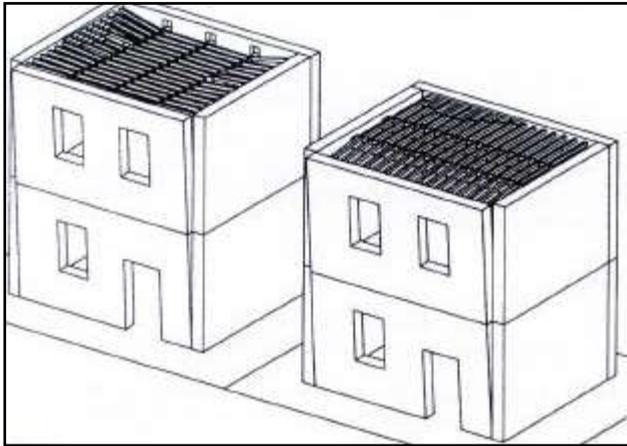
**Tale situazione si verifica quando il muro investito dall'azione sismica risulta libero in sommità e non ammorsato alle pareti a esso ortogonali. Anche se queste ultime hanno una qualità insoddisfacente, il collasso si manifesta per primo nella parete normale all'azione sismica, Le condizioni di vincolo che rendono possibile questo meccanismo, sono quindi l'assenza di connessioni nel martello murario e assenza di dispositivi di collegamento, come cordoli o catene, in testa alla tesa ribaltante.**

**Se l'edificio ha subito l'azione di un sisma questo tipo di meccanismo è facilmente individuabile da lesioni verticali presenti in corrispondenza dell'incrocio tra la tesa ribaltante e le pareti a essa ortogonali oppure dall'avvenuto sfilamento di travi dall'incastro con il muro.**

**Il ribaltamento semplice di porzioni di muratura può riguardare diverse geometrie della parete in esame, in relazione ad un quadro fessurativo rilevato e alla presenza di aperture nel muro (porte e finestre) che ne influenzano la progressione. Può interessare una sola o più parti dell'edificio, relativamente alla modalità di connessione tra i solai e le murature ai vari livelli della struttura. In questi casi occorre considerare la possibilità che il ribaltamento possa coinvolgere diversi livelli della parete; bisogna quindi valutare il moltiplicatore di collasso per differenti posizioni della cerniera cilindrica.**

**Si osserva inoltre che a volte gli edifici di antica realizzazione presentano strutture murarie costituite da due cortine separate (il caso limite è rappresentato dalle murature a sacco); in questi casi il meccanismo di ribaltamento può interessare la**

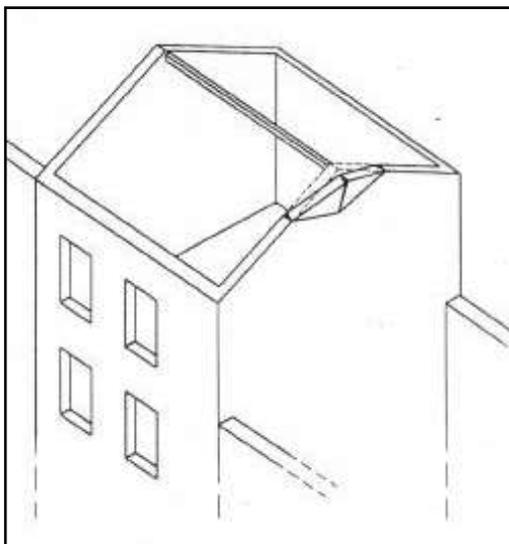
sola cortina esterna con presumibile riduzione del moltiplicatore di collasso, che deve essere quindi opportunamente valutato.



**Esempi:**

**Ribaltamento di testata / discontinuità almetriche**

**Descrizione:** il meccanismo è determinato dall'azione ciclica di martellamento della trave di colmo che provoca lo sfondamento del timpano con conseguente rottura e rotazione della parte muraria più elevata. Una condizione che favorisce l'innescarsi del meccanismo è quella di una trave di notevoli dimensioni.

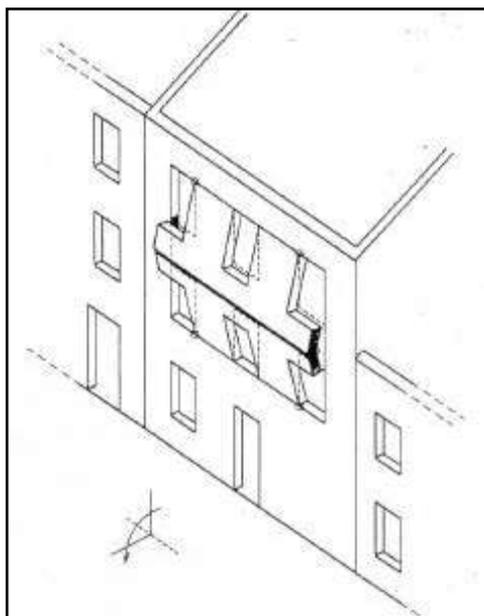


### **9.0.2. Meccanismi di flessione verticale**

Una situazione piuttosto comune negli edifici in muratura e rappresentata da una tesa muraria vincolata agli estremi e libera nella zona centrale. È questo il caso, ad esempio di un edificio con un cordolo in sommità e i solai intermedi privi di qualsiasi connessione; una situazione di questo tipo si presenta anche quando si considera la porzione di parete compresa tra due solai ben collegati a essa. In queste condizioni la presenza in sommità di un dispositivo di connessione impedisce il ribaltamento della parete verso l'esterno. Tuttavia questa, sotto l'effetto dello scuotimento orizzontale, può collassare per instabilità verticale. Infatti, la struttura muraria, costruita per sovrapposizione di elementi lapidei e laterizi vincolati da semplice contatto e da una malta con scarsa resistenza a trazione, sopporta gli sferzi di flessione indotti dalle azioni ortogonali al suo piano, solo se lo sforzo normale mantiene la risultante interna alla sezione trasversale. In caso contrario si forma in quel punto una cerniera cilindrica orizzontale che consente l'innescò del cinematismo per flessione verticale.

Tale meccanismo è favorito da una qualità scadente della muratura, ad esempio muratura a sacco, che la rende instabile e da spinte orizzontali localizzate, determinate ad esempio dalla presenza di archi, volte o solai intermedi non trattenuti; può quindi verificarsi in presenza di un trattenimento in testa alla tesa muraria, dovuti, ad esempio, a tiranti metallici, ad ancoraggi alle testate di travi lignee o a cordoli e solette in c.a. ben ammorsate alla muratura. Il meccanismo, in questo caso, è caratterizzato da valori del coefficiente di collasso  $\lambda$  più elevati rispetto al caso di ribaltamento semplice.

In un edificio già danneggiato dal terremoto il meccanismo è segnalato da un fuori piombo della parete, talvolta accompagnato dallo sfilamento delle travi del solaio che insiste sulla parete. In ogni caso, l'instaurarsi dell'arco verticale che precede l'attivazione del meccanismo richiede la presenza di efficaci vincoli orizzontali sopra e sotto il tratto di parete interessato.



**Il meccanismo di flessione verticale di una parete può quindi interessare uno o più piani dell'edificio, in relazione alla presenza di vincoli agli orizzontamenti, diverse geometrie dei macroelementi, determinate dalla presenza di aperture o spinte localizzate, ad uno o entrambi i paramenti nel caso di strutture murarie a doppia cortina. In particolare nel caso dei muri a sacco il materiale di riempimento interno per effetto della sovrappressione può causare l'instabilità del paramento esterno, soprattutto quando il solo paramento interno è collegato ai solai (ad esempio quando su questo sono stati realizzati cordoli in c.a. in traccia).**

### **9.0.3. Meccanismi di flessione orizzontale**

**In presenza di pannelli murari efficacemente vincolati alle pareti ortogonali con il lato sommitale non trattenuto da alcun dispositivo si assiste spesso a un tipo di crisi riconducibile al comportamento flessionale nel piano orizzontale del solido murario. La risposta strutturale della parete si manifesta in questi casi come un effetto arco orizzontale all'interno della parete ed è chiamato in causa dall'azione sismica ortogonale alla stessa. In particolare, la spinta trasmessa dal solaio o dalla copertura in testa alla struttura muraria si scarica sulla parete di facciata fino ad arrivare a interessare le pareti a essa ortogonali (arco orizzontale).**

Tale azione, in corrispondenza delle intersezioni murarie, viene quindi ripartita in una componente T ortogonale alla parete investita dal sisma, ed assorbita dai tiranti, ed una componente H parallela alla stessa.

L'attivazione del meccanismo è preceduta dalla formazione di un arco orizzontale nello spessore del muro; nella condizione limite di equilibrio si formano tre cerniere, una in mezzeria, le altre in prossimità dell'intersezione tra la parete in esame ed i muri ad essa ortogonali, in corrispondenza degli elementi che devono portare il tiro T.

Dallo schema di calcolo si osserva che il collasso si manifesta quando la parete non trova elementi strutturali in grado di fornire le reazioni H. Nel caso in cui la parete si inserisce all'interno di una schiera e le porzioni di muratura contigue sono di sufficiente resistenza, il collasso per cinematico non si verifica e la rottura può avvenire solo per schiacciamento della parte interna del muro.

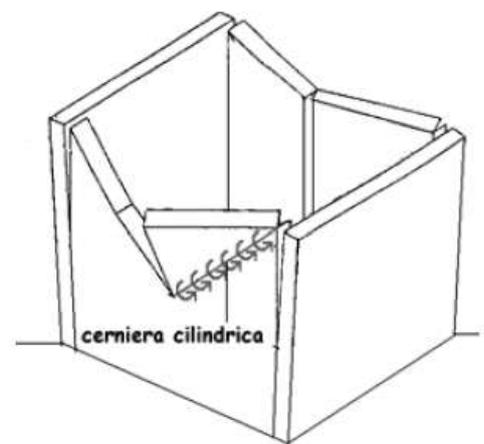
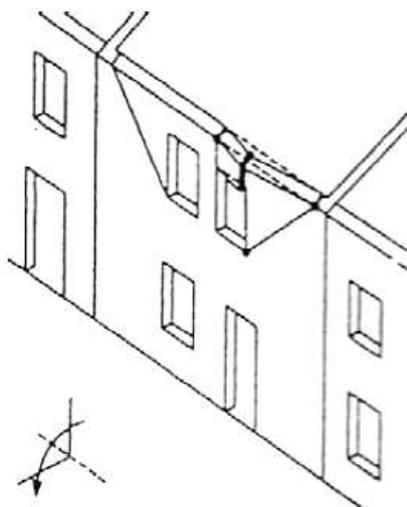
In altre parole l'evoluzione del meccanismo dipende dalla capacità dei muri laterali di sopportare le spinte H degli archi. Se la parete non trova elementi di contrasto capaci di fornire una reazione pari ed opposta alla spinta H, allora lo schema isostatico di arco a tre cerniere diventa labile quando queste vengono ad essere allineate e si ha il conseguente cinematico di collasso. Se, invece, la struttura in esame appartiene ad una cella interclusa di una schiera, allora la spinta H è generalmente assorbita dalle pareti contigue, quindi diventa necessaria un'analisi di tipo tensionale che verifichi la condizione di schiacciamento della parte interna del muro soggetta a forti sollecitazioni di compressione.

La situazione descritta è tipica delle pareti trattenute da tiranti ed è favorita dalle spinte in testa al muro (dovute alla presenza di una copertura spingente o all'azione di martellamento degli elementi di grossa orditura del tetto) e da una ridotta resistenza a trazione della muratura (che comporta rischi di espulsione del materiale che costituisce la faccia esterna della parete per le tensioni di trazione che nascono al centro della muratura a causa del cinematico stesso). Anche la presenza di canne fumarie ricavate nello spessore della parete e di aperture per l'alloggio degli impianti tecnologici, riducendo la sezione resistente della struttura muraria, costituiscono situazioni preferenziali per la formazione delle cerniere

verticali e l'innescò del cinematismo e rappresentano quindi elementi di particolare interesse.

Nell'analisi del meccanismo di flessione orizzontale bisogna distinguere poi tra il caso di parete monolitica, per il quale l'arco di scarico può interessare l'intero spessore della parete, ed il caso di parete a doppia cartina per il quale si può manifestare espulsione di materiale senza che si abbia il coinvolgimento della cortina interna, Il meccanismo di flessione orizzontale inoltre può interessare diverse geometrie dei macroelementi coinvolti nel cinematismo, la cui definizione è condizionata principalmente dalla presenza di aperture allineate nella fascia di sottotetto e dalla qualità della muratura che influisce sull'altezza del cuneo di distacco.

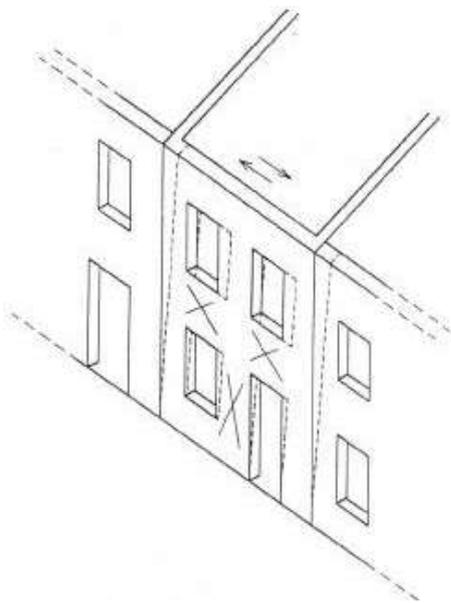
Nel caso di strutture anche lievemente danneggiate l'individuazione di meccanismi di flessione orizzontale è agevolata dalla lettura del quadro fessurativo che fornisce importanti indicazioni sui macroelementi che si sono formati. Mentre in generale nel caso di murature integre con cantonali correttamente eseguiti i possibili cinematismi di collasso fuori dal piano possono svilupparsi con il coinvolgimento di porzioni più o meno ampie di muratura e non è immediato prevedere quale sia il cinematismo più probabile. Per stabilire quale sia la condizione più sfavorevole, in questi casi occorre valutare diversi moltiplicatori di collasso ipotizzando diverse geometrie delle porzioni di muratura interessate dal cinematismo.



**Meccanismi di rottura nel piano:**

#### **9.0.4. Meccanismi da taglio**

**Descrizione:** il meccanismo è dovuto all'azione nel piano della parete che produce la rottura a taglio. Le lesioni possono interessare i pannelli murari fra le aperture di uno stesso piano o le porzioni murarie fra le aperture di piani differenti. Le lesioni sono tanto più nette in presenza di una muratura di buona qualità.



#### **9.0.5. Meccanismi di ribaltamento composto**

Per ribaltamento composto si vuole qui indicare un insieme di situazioni in cui al ribaltamento della parete ortogonale all'azione sismica si accompagna il trascinarsi di una porzione di struttura muraria appartenente ad un'angolata libera oppure a pareti di spina. In molti casi infatti i martelli murari e le angolate presentano connessioni adeguate tra le murature che confluiscono in un nodo, tali da determinare il coinvolgimento di parti di esse nel ribaltamento. Affinché si

possa prevedere un meccanismo di ribaltamento composto in un edificio integro, devono esserci condizioni

caratterizzate dall'assenza di vincoli in sommità della parete ribaltante e dalla presenza di un efficace collegamento tra la parete investita dal sisma e quella ad essa ortogonale. Si tratta generalmente di murature costruite in uno stesso momento (cellule originarie) o che hanno subito interventi di consolidamento che prevedono il collegamento dei pannelli murari ortogonali, ma in assenza di un efficace collegamento in testa alla parete ribaltante.

Inoltre, in relazione alla presenza di solai rigidi, si può definire una diversa configurazione del cuneo di distacco nella parete coinvolta nel ribaltamento. Nel caso in cui siano presenti solai tradizionali, privi di soletta armata, il meccanismo di ribaltamento della facciata è accompagnato generalmente dal distacco di un cuneo diagonale della parete ortogonale. Se invece i solai sono dotati di soletta rigida il meccanismo di ribaltamento composto determina il trascinamento di un cuneo a doppia diagonale nella parete di controvento.

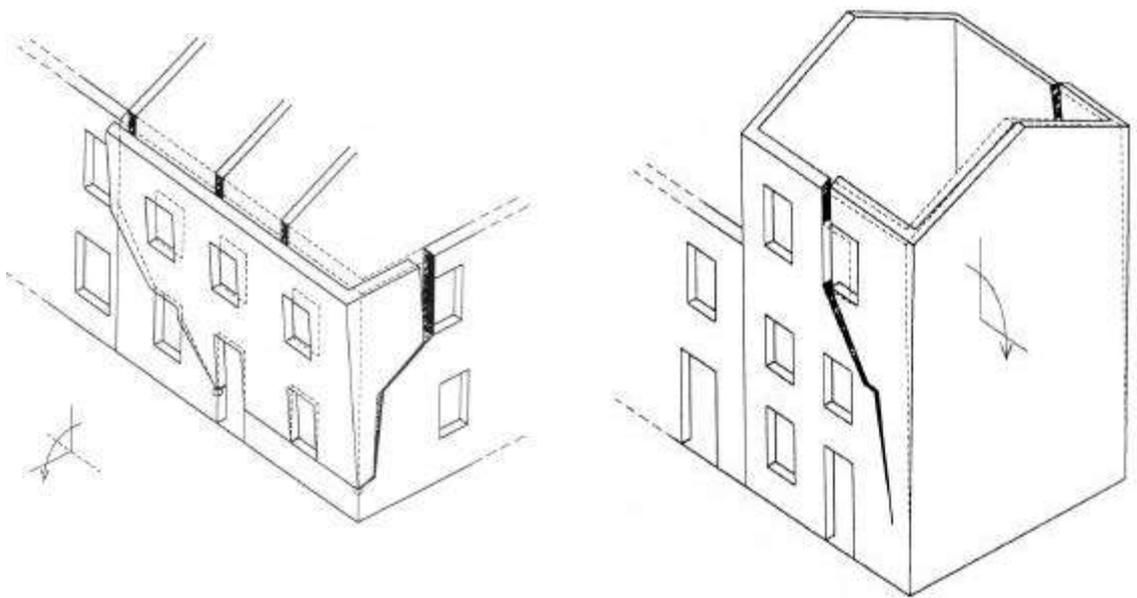
Quando l'edificio in esame ha già subito l'azione di un sisma è possibile constatare il meccanismo di ribaltamento composto attraverso la lettura del dissesto rilevato, descritto da lesioni diagonali o a doppia diagonale sulle pareti di spina con angolo di distacco differente a seconda della tipologia e della qualità muraria caratterizzante l'edificio stesso.

In effetti tale meccanismo, che rappresenta una variante del ribaltamento semplice, è fortemente influenzato anche dal tipo di muratura e dalla presenza di aperture nelle pareti di controvento, da cui dipendono in particolare le dimensioni e la configurazione del cuneo di distacco.

Per pareti di controvento prive di aperture si può osservare che in generale l'angolo formato dalla diagonale del cuneo che ribalta con la verticale aumenta all'aumentare della qualità muraria (in particolare è tanto maggiore quanto migliore è l'apparecchiatura del sistema murario e quanto maggiori sono le dimensioni medie degli ortostati). In presenza di aperture in prossimità dell'intersezione tra i muri, invece, la forma e le dimensioni del cuneo di distacco sono determinate da queste. Si osserva poi che, in questo tipo di cinematismo,

minore e la porzione di muratura che viene trascinata nel moto di ribaltamento più ridotto risulta il valore del moltiplicatore di collasso determinato, fino a tendere al limite al caso di ribaltamento semplice.

Il meccanismo di ribaltamento composto può interessare quindi diverse geometrie del macroelemento coinvolto nel cinematismo e diversi piani dell'edificio, in relazione alla presenza di dispositivi di connessione ai vari livelli, ma riguarda generalmente murature a comportamento monolitico poiché può attivarsi solo in pareti di buona qualità ed apparecchiatura.



## 9.2. Vulnerabilità sismiche nell'isolato oggetto di studio

L'area oggetto di studio è stata profondamente modificata nel corso degli anni attraverso ampliamenti, rifusioni e sopraelevazioni.

Data la disposizione delle cellule originarie si sono individuate le murature appartenenti a tali unità e si è visto come si sono evolute.

Spesso le murature successive a quelle originarie venivano semplicemente appoggiate ad esse senza creare un' ammassamento capace di garantire una soluzione di continuità.

Inoltre le facciate dei palazzi, che nel corso del tempo sono state più volte rimaneggiate possono presentare scarso ammassamento con le murature di spina con conseguente rischio di ribaltamento della facciata.

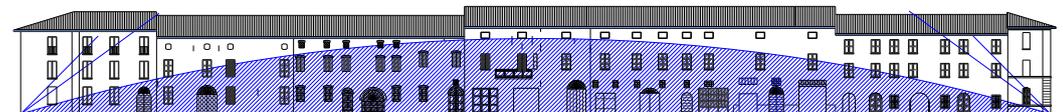
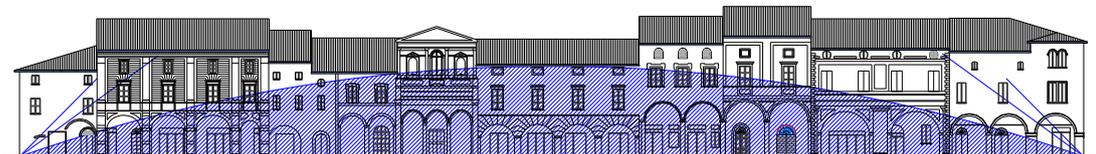
Questo crea ad oggi dei punti di discontinuità che rappresentano delle vulnerabilità dal punto di vista della resistenza alle azioni sismiche.

Un altro problema che si può verificare in alcuni punti dell'aggregato in caso di terremoto è il martellamento dei solai, per via della differente quota degli stessi in alcuni edifici.

Nei tetti degli edifici più alti il martellamento delle travi della copertura può portare al ribaltamento del timpano.

Lungo la via Emilia, vi è un lungo porticato che è di per se una grave vulnerabilità da un punto di vista sismico in quanto non adatto a contrastare azioni orizzontali.

Vi sono inoltre alcuni problemi dovuti a spinte non contrastate dovute alle volte e alle coperture degli edifici di testa.



Per le pareti sottese dall'arco non esiste rischio di ribaltamento per effetto delle azioni complanari.



## 10. Verifica sismica

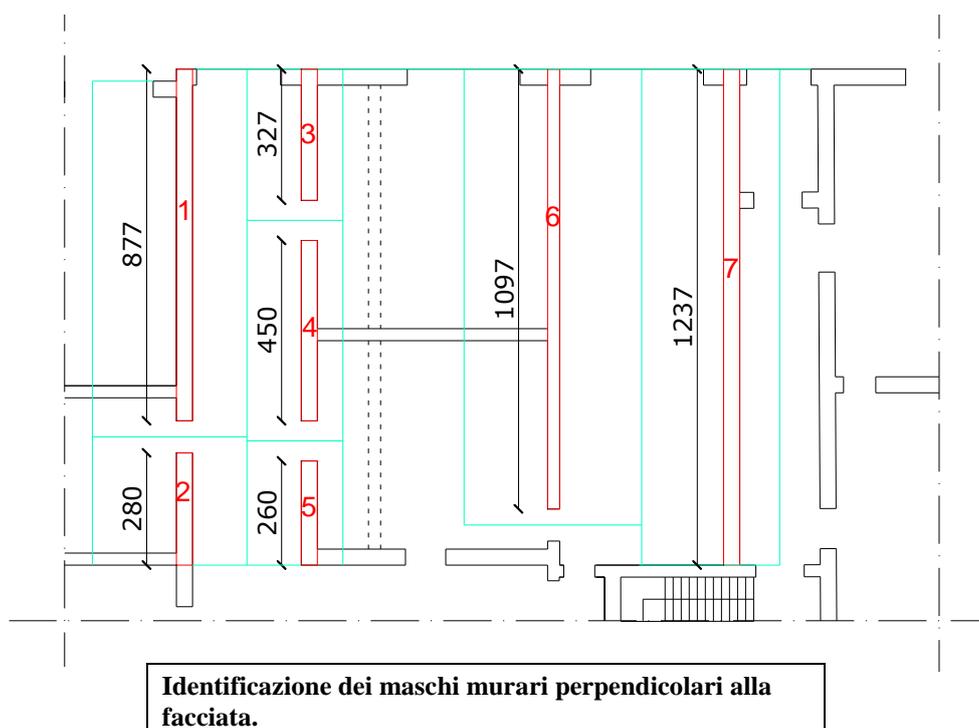
### 10.1. Individuazione dell'unità strutturale:

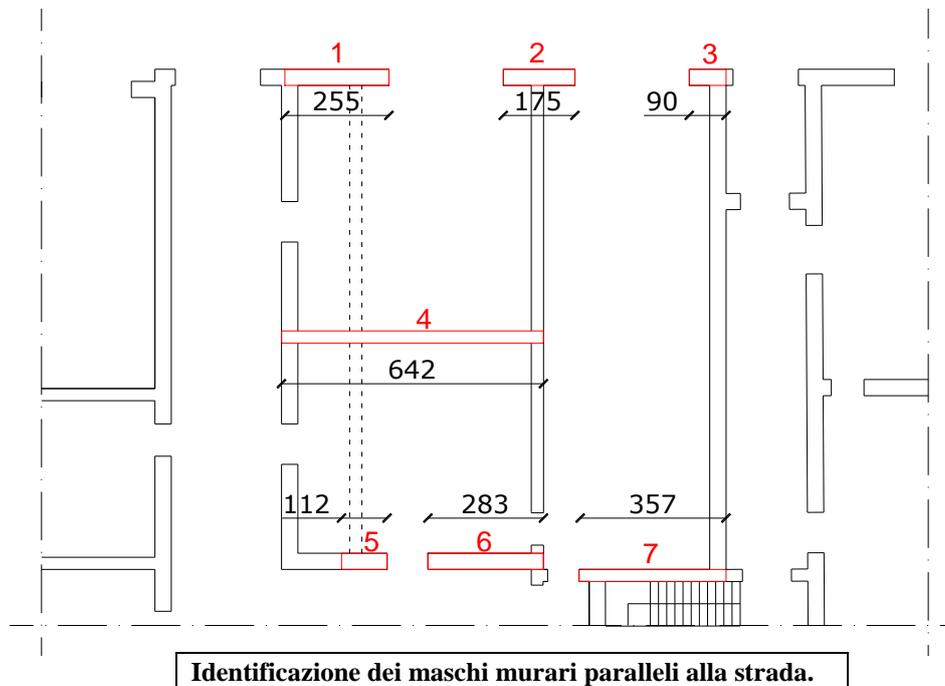


L'unità scelta presenta caratteristiche costruttive tipiche dell'edilizia storica locale con muratura in mattoni pieni e malta di calce e solai in legno.

Ad un primo esame l'unità sembra adeguatamente controventata in direzione perpendicolare alla strada, non altrettanto nell'altra direzione nella quale però può contare su un efficace confinamento da parte degli edifici attigui.

Di seguito sono indicati i setti nelle due direzioni ortogonali e le rispettive aree di influenza.





## 10.2. Analisi globale:

Come riportato in normativa, “nel caso di solai sufficientemente rigidi, la verifica convenzionale allo Stato limite di salvaguardia della vita e allo Stato limite di esercizio di un edificio (unità strutturale) in aggregato può essere svolta, anche per edifici con più di due piani, mediante l'analisi statica non lineare analizzando e verificando separatamente ciascun interpiano dell'edificio, e trascurando la variazione della forza assiale nei maschi murari dovuta all'effetto dell'azione sismica”. “...l'analisi potrà essere svolta trascurando gli effetti torsionali, ipotizzando che i solai possano unicamente traslare nella direzione considerata dell'azione sismica.”

### 10.2.1. Analisi statica non lineare

In questo tipo di analisi il problema della valutazione della massima forza attesa, conseguente all'accadimento di un determinato evento sismico, è ricondotto allo studio di un sistema non lineare a un unico grado di libertà equivalente al modello dotato di  $n$  gradi di libertà, che rappresenta la struttura reale.

Vengono utilizzate analisi statiche non lineari (pushover) per caratterizzare poi il sistema sismico resistente tramite curve di capacità.

Mentre nei metodi di analisi elastici il comportamento non lineare è tenuto in conto introducendo il fattore di struttura, l'analisi statica non lineare permette di cogliere l'evoluzione della risposta strutturale mano a mano che i singoli elementi evolvono in campo non lineare, fornendo indicazioni sulla distribuzione della domanda di anelasticità.

- **Analisi dei setti murari**

Le caratteristiche del materiale vengono definite in normativa in base al tipo di muratura ed al livello di conoscenza raggiunto.

Nel caso in esame la muratura è in mattoni pieni e malta di calce ed il livello di conoscenza raggiunto è il LV1.

Andranno quindi presi i valori minimi riportati nella norma per quanto riguarda la resistenza media a compressione e a taglio, mentre per i moduli elastici andranno adottati dei valori medi.

Data la geometria della sezione e i carichi agenti su di essa, si calcolano il taglio ed il momento ultimo con le formule definite da normativa.

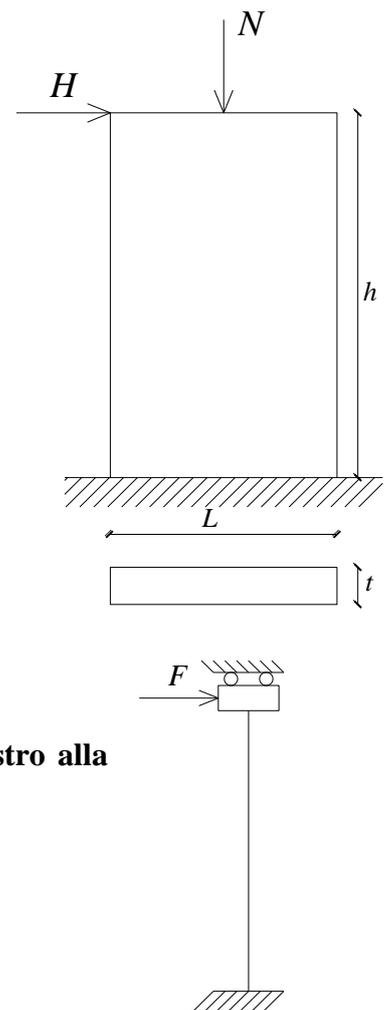
$$V_u = L * t * \frac{1.5 * \tau_{od}}{b} * \sqrt{1 + \frac{\sigma_o}{1.5 * \tau_{od}}}$$

$$M_u = \frac{L^2 * t * \sigma_o}{2} * \left(1 - \frac{\sigma_o}{0.85 * f_d}\right)$$

La  $F_u$  è data dal minore tra il taglio ultimo ed il taglio ultimo dovuto al momento.

$$F_u = \min \left\{ V_u, \frac{2 * M_u}{h} \right\}$$

Si valuta ora la rigidezza del setto considerandolo con incastro alla base e incastro scorrevole in sommità.



$$K = \frac{1}{\frac{h^3}{12 * E * J} + \frac{1.2 * h}{G * A}}$$

Data la rigidezza posso trovare lo spostamento al limite elastico.

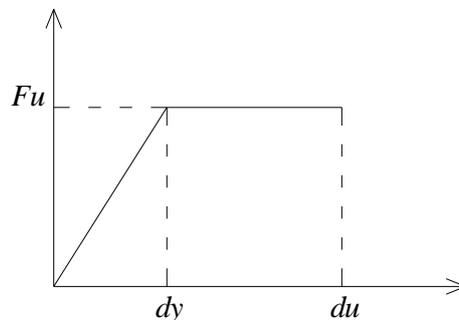
$$\delta_y = F_u / K$$

Gli spostamenti ultimi sono dati da normativa a seconda del tipo di rottura.

$$\delta_u = 0.004 * h \text{ per crisi per taglio}$$

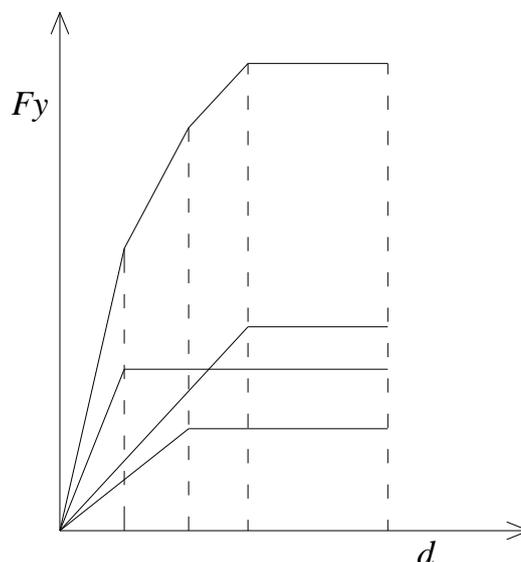
$$\delta_u = 0.006 * h \text{ per crisi per flessione}$$

Ora si può tracciare la curva F- $\delta$  del maschio murario.



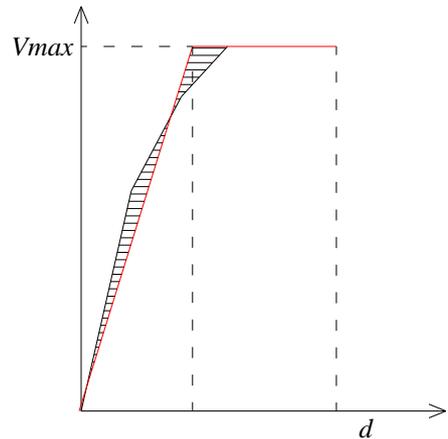
- **Analisi di piano**

Trovate le curve F- $\delta$  dei vari setti murari si possono costruire le curve di capacità di ciascun piano. Assumendo l'ipotesi di solai infinitamente rigidi ottengo la curva di capacità sommando i contributi dei singoli setti.



Nella curva di capacità così determinata è identificabile un primo tratto lineare ed un secondo non lineare; questo andamento deve essere quindi bilinearizzato al fine di ottenere un comportamento elastico perfettamente plastico. Occorre definire uno spostamento ultimo “ $\delta_u$ ”, valutato in corrispondenza ad un degrado del taglio alla base, pari al 20%. Possono essere quindi valutati i parametri della curva bilineare equivalente tramite due differenti modi:

- Viene posta la forza di snervamento  $F_y^*$  pari al taglio massimo alla base. Lo spostamento al limite elastico corrispondente a tale forza può essere determinato imponendo l'uguaglianza delle aree tra i due diagrammi che vengono considerati. La rigidezza, del tratto elastico può essere ricavata dal rapporto tra forza di snervamento e spostamento al limite elastico e risulta essere la rigidezza secante del sistema equivalente.



Quindi:

$$F_y^* = V_{max}$$

$$\delta_y^* \Rightarrow \text{uguaglianza aree}$$

$$K^* = \frac{F_y^*}{\delta_y^*}$$

-Si considera il 70% del massimo taglio alla base e viene ricavato attraverso interpolazione lineare lo spostamento corrispondente. In questo modo è possibile ricavare la rigidezza del tratto elastico. Imponendo l'uguaglianza delle aree tra i due legami forza-spostamento è possibile ricavare la forza di snervamento. Si ricava dunque lo spostamento al limite elastico in corrispondenza di tale forza.

Quindi:

$$K^* = \frac{0.7 * V_{max}}{\delta_{interpolato}}$$

$F_y^* \Rightarrow$  uguaglianza aree

$$\delta_y^* = \frac{F_y^*}{K^*}$$

- **Analisi con metodo del meccanismo di piano**

Si valuto in maniera approssimata il periodo elastico  $T_1$  dell'edificio:

$$T = C_1 * H^{\frac{3}{4}}$$

Si stima il taglio elastico alla base dello spettro di risposta elastico in accelerazione:

$$F_{el,base} = S_e(T_1) * W_{tot}/g$$

Occorre definire un sistema di forze agenti al livello dei singoli piani. Tali forze si considerano distribuite in maniera proporzionale all'altezza, per cui:

$$F_i = F_h * \frac{W_i * h_i}{\sum_{j=1}^N W_j * h_j}$$

Si valuta ora il rapporto tra taglio di interpiano  $V_j$  del piano  $j$  in esame e il taglio totale alla base:

$$v_j = \frac{V_j}{F_{base}}$$

Con:  $V_j = \sum_{i=j}^N F_i$

Il sistema equivalente a un g.d.l. viene definito ponendo  $F^* = V_j$  e  $d^* =$  spostamento di interpiano.

Si calcola  $q^* = v_j * \frac{F_{el,base}}{F_y^*}$

Infine si calcola  $d_{max}$  e si confronta con  $d_u^*$ :

$$d_{max}^* = d_y^* * \left[ 1 + (q^* - 1) * \frac{T_c}{T_1} \right]$$

non minore di  $q^* . d_y^*$

Si verifica che  $d_{max} < d_u^*$ .

## 10.2.2. Applicazione dell'analisi al caso in esame:

**Dati iniziali:**

**Pesi solai:**

	<b>Carichi permanenti</b>	<b>Carichi accidentali</b>
<b>Tetto</b>	<b>260 Kg/m<sup>2</sup></b>	<b>120 Kg/m<sup>2</sup></b>
<b>Solaio sottotetto</b>	<b>291 Kg/m<sup>2</sup></b>	<b>50 Kg/m<sup>2</sup></b>
<b>Solaio primo piano</b>	<b>351 Kg/m<sup>2</sup></b>	<b>200 Kg/m<sup>2</sup></b>
<b>Solaio latero-cemento</b>	<b>420 Kg/m<sup>2</sup></b>	<b>200 Kg/m<sup>2</sup></b>

**Pesi muratura:**

**t=30cm      540    Kg/m<sup>2</sup>**

**t= 40cm      720    Kg/m<sup>2</sup>**

**Per lo stato limite ultimo si devono adottare le masse associate alla seguente combinazione di carichi gravitazionali:**

$$G_k + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}$$

**Dove  $\psi_{2i}$  vale 0 per la copertura e 0.3 per gli altri piani.**

**Caratteristiche meccaniche della muratura:**

**f<sub>m</sub> = 240 N/cm<sup>2</sup>**

**τ<sub>0</sub> =6 N/cm<sup>2</sup>**

**E = 1500 N/mm<sup>2</sup>**

**G = 500 N/mm<sup>2</sup>**

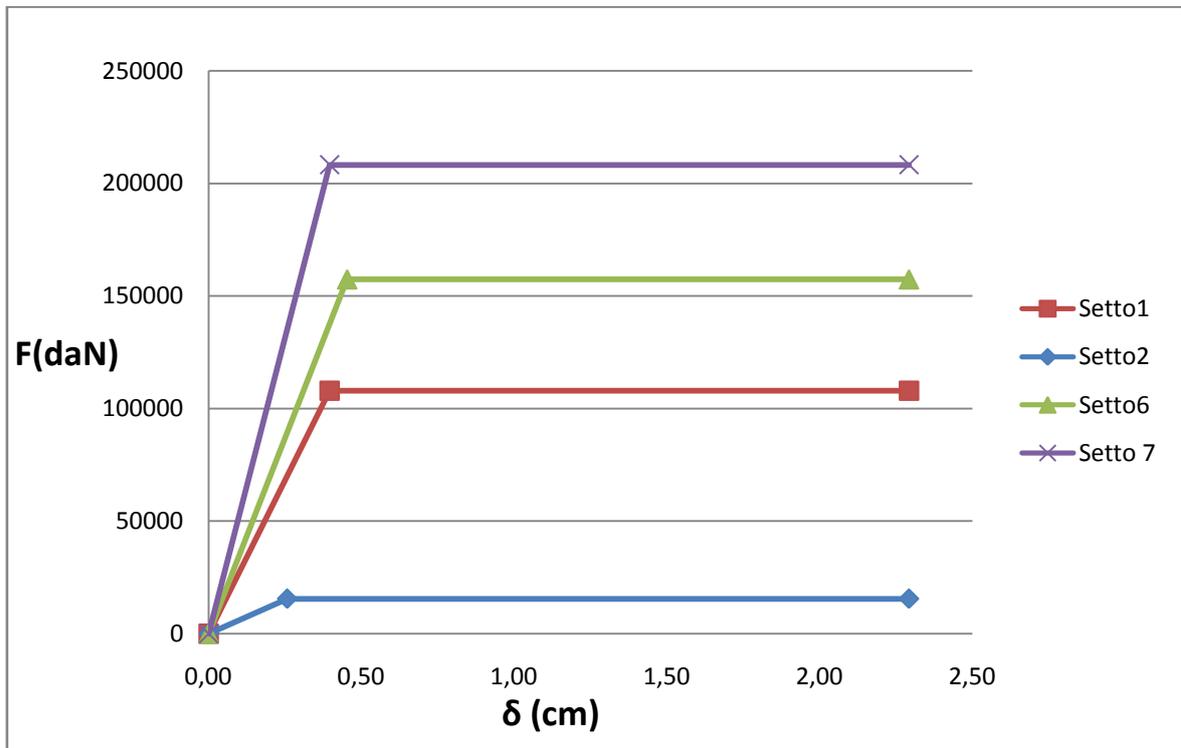
### 10.2.2.1. Analisi per sisma agente perpendicolarmente alla strada.

#### 1. Primo piano:

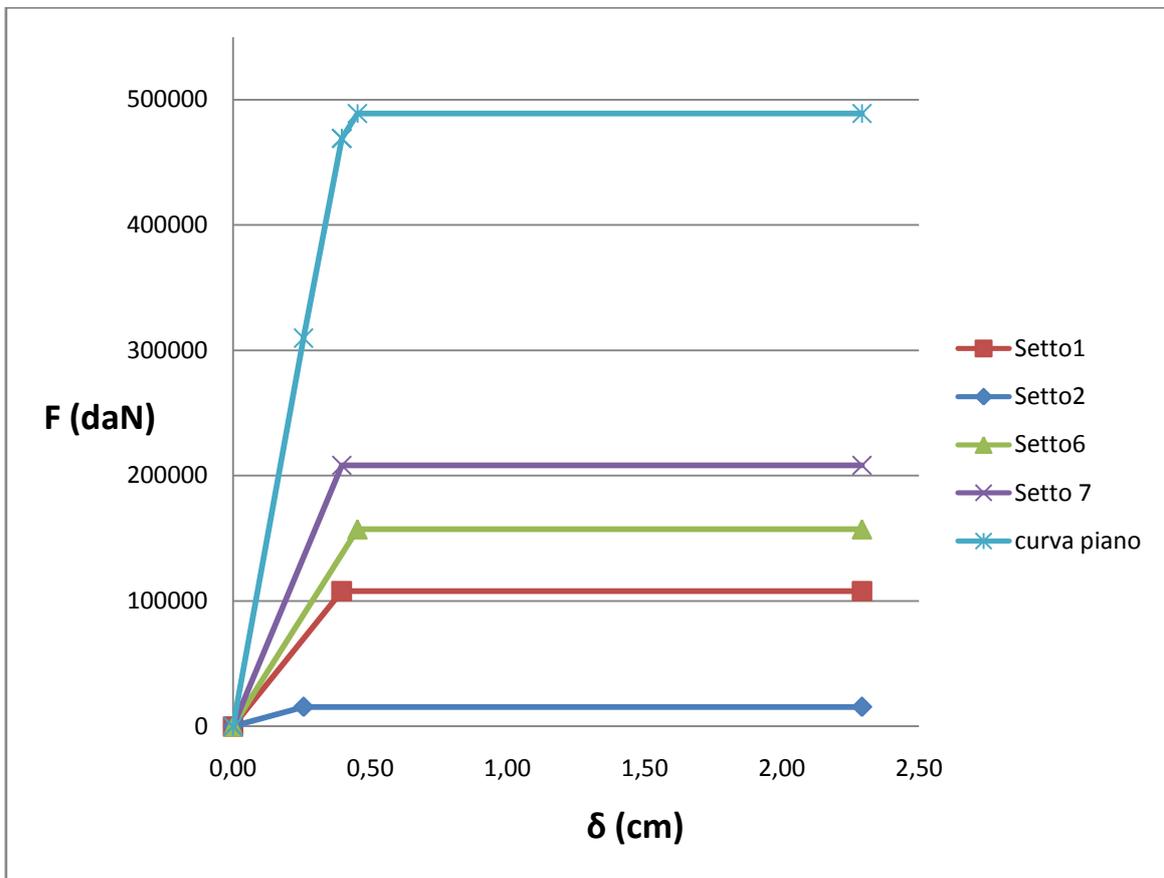
Analisi setti:

Setto	L (cm)	t (cm)	N (daN)	$\sigma_0$ (daN/cm <sup>2</sup> )	Vu,taglio (daN)	Vu,momento (daN)	$\Delta y$ (cm)	$\Delta u$ (cm)
1	877	30	54440	2,07	200783	107870	0,40	2,29
2	280	30	26843	3,20	49925	15515	0,26	2,29
6	1097	30	62702	1,91	248783	157360	0,45	2,29
7	1237	40	71050	1,44	363661	208213	0,40	2,29

Curve F- $\delta$ :



**Curva capacità primo piano:**



**Analisi con meccanismo di piano:**

**H (m)= 11,6**  
**C<sub>1</sub>= 0,05**  
**T<sub>1</sub> (s)= 0,3143**  
**W<sub>tot</sub>(daN)= 518147**  
**Se(T<sub>1</sub>)(m/s<sup>2</sup>)= 6,90**  
**F<sub>el,base</sub>(daN)= 364257**  
**W<sub>2</sub>(daN)= 235107**  
**W<sub>1</sub>(daN)= 283040**  
**h<sub>1</sub>(cm)= 384**  
**h<sub>2</sub>(cm)= 786**

$$F_2(\text{daN})= 229359$$

$$F_1(\text{daN})= 134898$$

$$V_j = \Sigma F_i$$

$$V_2(\text{daN})= 229359$$

$$V_1(\text{daN})= 364257$$

$$v_j = V_j / F_{\text{base}}$$

$$v_2 = 0,6297$$

$$\delta_{y2}^*(\text{cm}) = 0,4143$$

$$F_{y2}^*(\text{daN}) = 488957$$

$$q_2^* = 0,47$$

$$\delta_{u2}(\text{cm}) = 1,6561$$

$$\delta_{\text{max}2}(\text{cm}) = q_2^* \delta_{y2} = 0,19$$

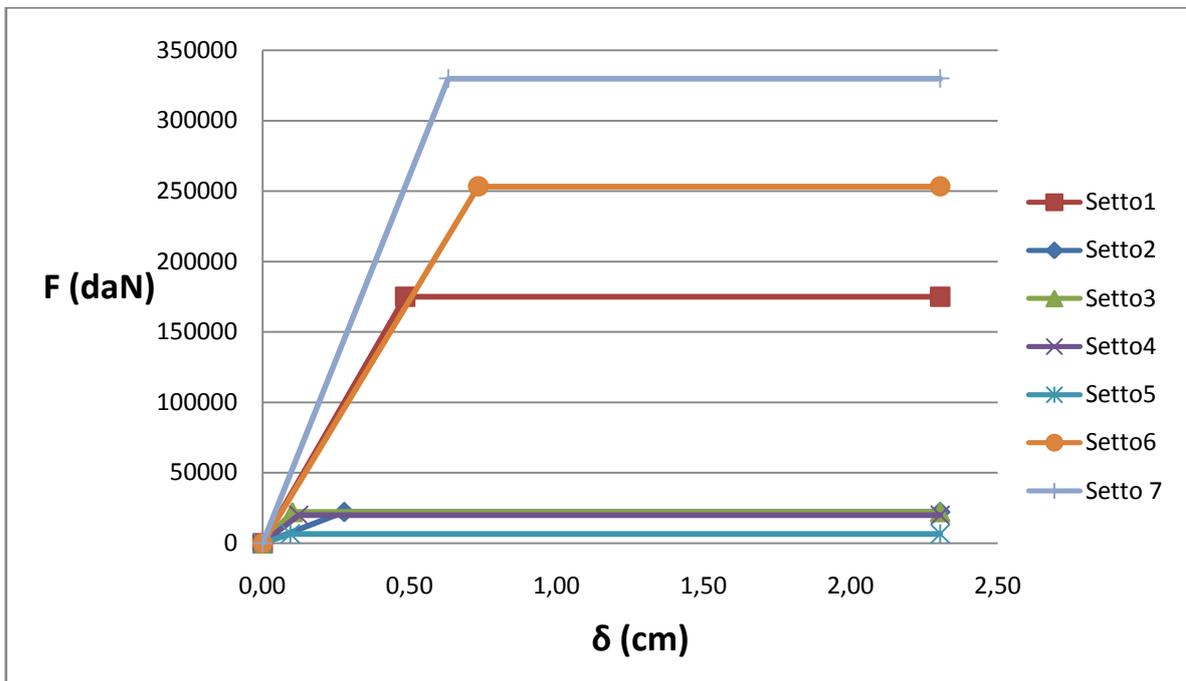
$$\delta_{u2} / \delta_{\text{max}2} = 6.23$$

## 2. Piano terra:

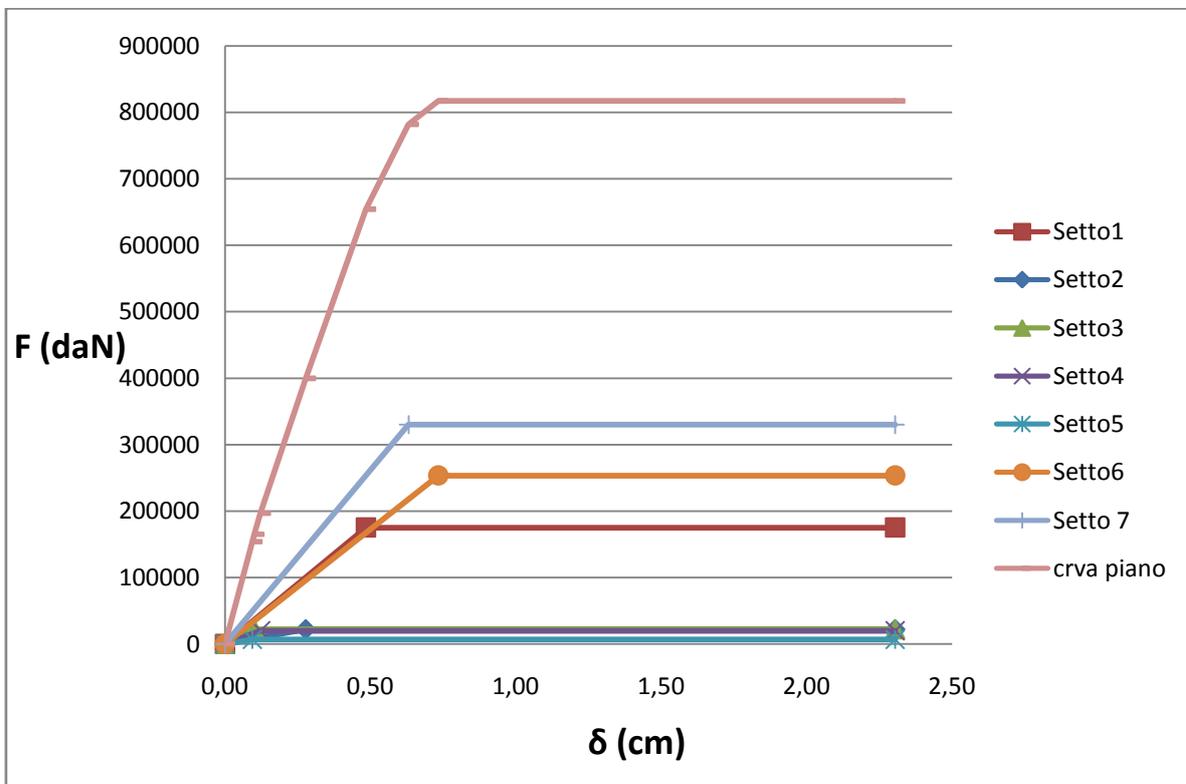
### Analisi setti:

Setto	L (cm)	t (cm)	N (daN)	$\sigma_0$ (daN/cm <sup>2</sup> )	Vu,taglio (daN)	Vu,momento (daN)	$\Delta y$ (cm)	$\Delta u$ (cm)
1	877	40	92907	2,65	276444	174997	0,48	2,30
2	280	40	39639	3,54	67363	22134	0,28	2,30
3	327	40	12981	0,99	79592	10328	0,10	2,30
4	450	40	18151	1,01	128756	19851	0,12	2,30
5	260	40	10409	1,00	50345	6581	0,09	2,30
6	1097	30	115497	3,51	271065	253320	0,73	2,30
7	1237	40	122499	2,48	386291	329961	0,63	2,30

**Curve F- $\delta$ :**



**Curva capacità piano terra:**



**Analisi con meccanismo di piano:**

<b>H (m)=</b>	<b>11,6</b>
<b>C1=</b>	<b>0,05</b>
<b>T1 (s)=</b>	<b>0,3143</b>
<b>W<sub>tot</sub>(daN)=</b>	<b>518147</b>
<b>Se(T1)(m/s<sup>2</sup>)=</b>	<b>6,89643</b>
<b>F<sub>el,base</sub>(daN)=</b>	<b>364257</b>
<b>W<sub>2</sub>(daN)=</b>	<b>235107</b>
<b>W<sub>1</sub>(daN)=</b>	<b>283040</b>
<b>h1(cm)=</b>	<b>384</b>
<b>h2(cm)=</b>	<b>786</b>
<b>F<sub>2</sub>(daN)=</b>	<b>229359</b>
<b>F<sub>1</sub>(daN)=</b>	<b>134898</b>
<b>V<sub>j</sub>=ΣF<sub>i</sub></b>	
<b>V<sub>2</sub>(daN)=</b>	<b>229359</b>
<b>V<sub>1</sub>(daN)=</b>	<b>364257</b>
<b>v1=</b>	<b>1</b>
<b>δy1*(cm)=</b>	<b>0,5968</b>
<b>Fy1*(daN)=</b>	<b>817173</b>
<b>q1*=</b>	<b>0,45</b>
<b>δu1(cm)=</b>	<b>2,3</b>
<b>δ<sub>max1</sub>(cm)=q1*δy1=</b>	<b>0,27</b>
<b>δu1/δ<sub>max1</sub>=</b>	<b>11,86</b>

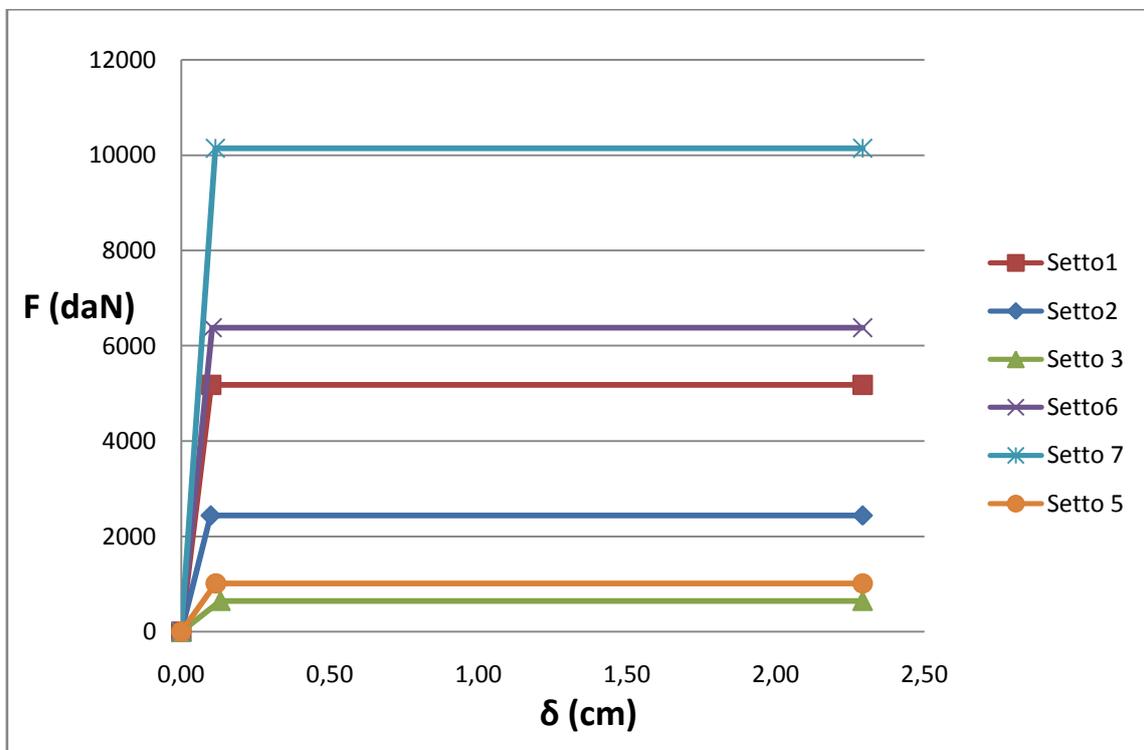
### 10.2.2.2. Analisi per sisma agente parallelamente alla strada.

#### 1. Primo piano:

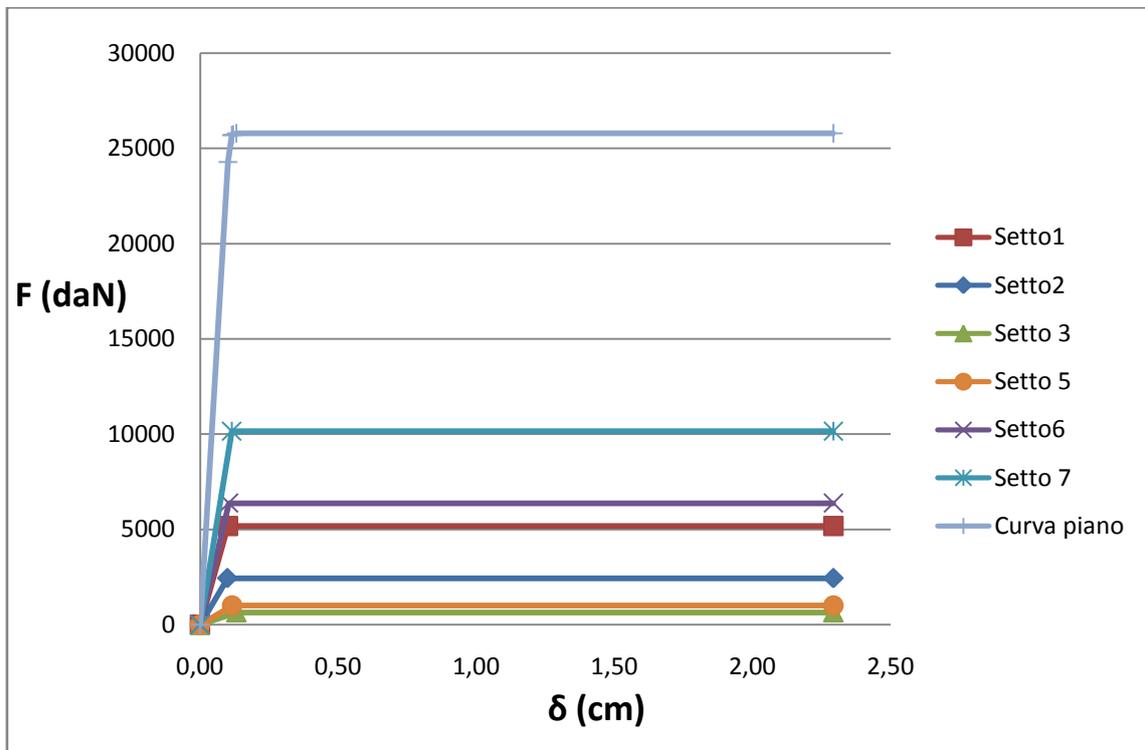
Analisi setti:

Setto	L (cm)	t (cm)	N (daN)	$\sigma_0$ (daN/cm <sup>2</sup> )	Vu,taglio (daN)	Vu,momento (daN)	$\Delta y$ (cm)	$\Delta u$ (cm)
1	255	30	8360	1,09	55021	5177	0,10	2,29
2	175	30	5737	1,09	37760	2438	0,10	2,29
3	90	30	2951	1,09	19419	645	0,13	2,29
5	112	30	3707	1,10	24183	1008	0,12	2,29
6	283	30	9278	1,09	61063	6376	0,10	2,29
7	357	30	11704	1,09	77030	10147	0,11	2,29

Curve F- $\delta$ :



### Curva capacità primo piano:



### Analisi con meccanismo di piano:

**H (m)= 11,6**  
**C1= 0,05**  
**T1 (s)= 0,31428**  
**W<sub>tot</sub>(daN)= 518147**  
**Se(T1)(m/s<sup>2</sup>)= 7**  
**F<sub>el,base</sub>(daN)= 364257**  
**W<sub>2</sub>(daN)= 235107**  
**W<sub>1</sub>(daN)= 283040**  
**h1(cm)= 384**  
**h2(cm)= 786**  
**F<sub>2</sub>(daN)= 229359**

$$F_1(\text{daN})= 134898$$

$$V_j = \Sigma F_i$$

$$V_2(\text{daN})= 229359$$

$$V_1(\text{daN})= 364257$$

$$v_j = V_j / F_{\text{base}}$$

$$v_2 = 0,6297$$

$$\delta_{y2}^*(\text{cm})= 0,11$$

$$F_{y2}^*(\text{daN})= 25791$$

$$q_2^* = 8,89$$

$$\delta_{u2}(\text{cm})= 0,44$$

$$\delta_{\text{max}2}(\text{cm}) = q_2^* \delta_{y2} = 1,41$$

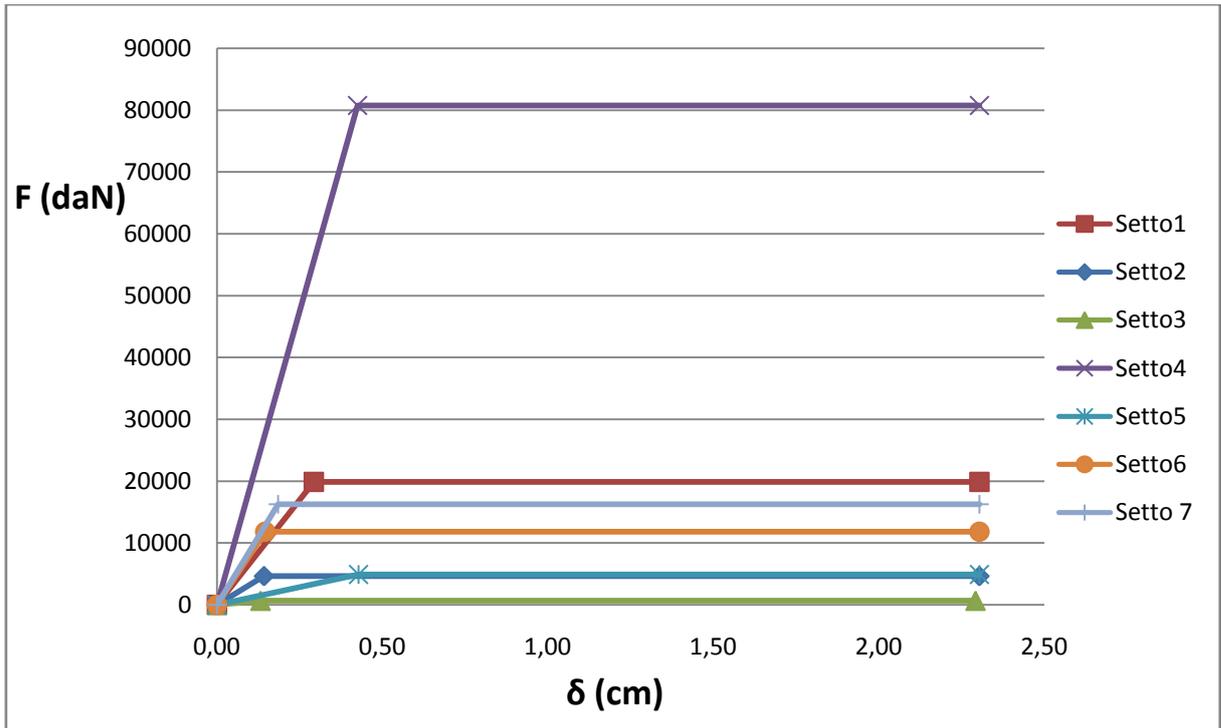
$$\delta_{u2} / \delta_{\text{max}2} = \mathbf{0.31}$$

## 2. Piano terra:

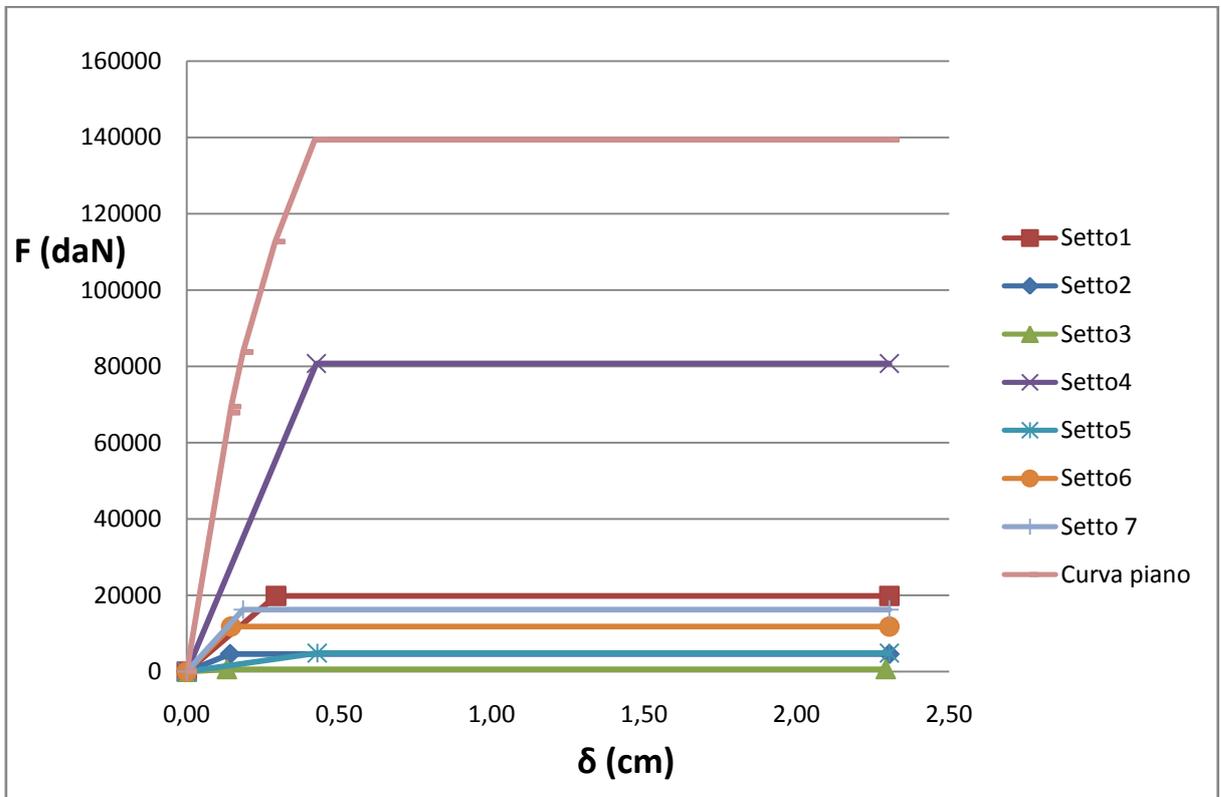
### Analisi setti:

Setto	L (cm)	t (cm)	N (daN)	$\sigma_0$ (daN/cm <sup>2</sup> )	Vu, taglio (daN)	Vu, momento (daN)	$\Delta y$ (cm)	$\Delta u$ (cm)
1	255	40	40602	3,98	85936	19860	0,29	2,30
2	175	40	11347	1,62	52032	4616	0,14	2,30
3	90	40	5686	1,58	26692	1193	0,19	2,30
4	642	30	61135	3,17	156001	80740	0,42	2,30
5	112	40	30052	6,71	42303	4874	0,43	2,30
6	283	40	17938	1,58	83958	11833	0,15	2,30
7	357	30	11704	1,09	77030	10147	0,11	2,29

**Curve F- $\delta$ :**



**Curva capacità piano terra:**



**Analisi con meccanismo di piano:**

<b>H (m)=</b>	<b>11,6</b>
<b>C1=</b>	<b>0,05</b>
<b>T1 (s)=</b>	<b>0,31428</b>
<b>W<sub>tot</sub>(daN)=</b>	<b>518147</b>
<b>Se(T1)(m/s<sup>2</sup>)=</b>	<b>7</b>
<b>F<sub>el,base</sub>(daN)=</b>	<b>364257</b>
<b>W<sub>2</sub>(daN)=</b>	<b>235107</b>
<b>W<sub>1</sub>(daN)=</b>	<b>283040</b>
<b>h1(cm)=</b>	<b>384</b>
<b>h2(cm)=</b>	<b>786</b>
<b>F<sub>2</sub>(daN)=</b>	<b>229359</b>
<b>F<sub>1</sub>(daN)=</b>	<b>134898</b>
<b>V<sub>j</sub>=ΣF<sub>i</sub></b>	
<b>V<sub>2</sub>(daN)=</b>	<b>229359</b>
<b>V<sub>1</sub>(daN)=</b>	<b>364257</b>
<b>v1=</b>	<b>1</b>
<b>δy1*(cm)=</b>	<b>0,34</b>
<b>Fy1*(daN)=</b>	<b>139380</b>
<b>q1*=</b>	<b>2,61</b>
<b>δu1(cm)=</b>	<b>1,36</b>
<b>δ<sub>max1</sub>(cm)=q1*δy1=</b>	<b>1,16</b>
<b>δu1/δ<sub>max1</sub>=</b>	<b>1,17</b>

### **10.3. Verifica meccanismi di collasso locali:**

Negli edifici esistenti in muratura spesso avvengono collassi parziali per cause sismiche, in genere per perdita dell'equilibrio di porzioni murarie; la verifica nei riguardi di questi meccanismi, secondo le modalità descritte nel seguito, assume significato se è garantita una certa monoliticità della parete muraria, tale da impedire collassi puntuali per disgregazione della muratura. Meccanismi locali si verificano nelle pareti murarie prevalentemente per azioni perpendicolari al loro piano”...”. Le verifiche con riferimento ai meccanismi locali di danno e collasso (nel piano e fuori piano) possono essere svolte tramite l'analisi limite dell'equilibrio, secondo l'approccio cinematico, che si basa sulla scelta del meccanismo di collasso e la valutazione dell'azione orizzontale che attiva tale cinematisimo.

L'applicazione del metodo di verifica presuppone quindi l'analisi dei meccanismi locali ritenuti significativi per la costruzione, che possono essere ipotizzati sulla base della conoscenza del comportamento sismico di strutture analoghe, già danneggiate dal terremoto, o individuati considerando la presenza di eventuali stati fessurativi, anche di natura non sismica; inoltre andranno tenute presente la qualità della connessione tra le pareti murarie, la tessitura muraria, la presenza di catene, le interazioni con altri elementi della costruzione o degli edifici adiacenti.

L'approccio cinematico permette inoltre di determinare l'andamento dell'azione orizzontale che la struttura è progressivamente in grado di sopportare all'evolversi del meccanismo. Tale curva è espressa attraverso un moltiplicatore  $\alpha$ , rapporto tra le forze orizzontali applicate ed i corrispondenti pesi delle masse presenti, rappresentato in funzione dello spostamento  $d_k$  di un punto di riferimento del sistema; la curva deve essere determinata fino all'annullamento di ogni capacità di sopportare azioni orizzontali ( $\alpha=0$ ). Tale curva può essere trasformata nella curva di capacità di un sistema equivalente ad un grado di libertà, nella quale può essere definita la capacità di spostamento ultimo del meccanismo locale, da confrontare con la domanda di spostamento richiesta dall'azione sismica.

Per ogni possibile meccanismo locale ritenuto significativo per l'edificio, il metodo si articola nei seguenti passi:

- trasformazione di una parte della costruzione in un sistema labile (catena cinematica), attraverso l'individuazione di corpi rigidi, definiti da piani di frattura ipotizzabili per la scarsa resistenza a trazione della muratura, in grado di ruotare o scorrere tra loro (meccanismo di danno e collasso);
- valutazione del moltiplicatore orizzontale dei carichi  $\alpha_0$  che comporta l'attivazione del meccanismo (stato limite di danno);
- valutazione dell'evoluzione del moltiplicatore orizzontale dei carichi  $\alpha$  al crescere dello spostamento  $d_k$  di un punto di controllo della catena cinematica, usualmente scelto in prossimità del baricentro delle masse, fino all'annullamento della forza sismica orizzontale;
- trasformazione della curva così ottenuta in curva di capacità, ovvero in accelerazione  $a^*$  e spostamento  $d^*$  spettrali, con valutazione dello spostamento ultimo per collasso del meccanismo (stato limite ultimo), definito in seguito;
- verifiche di sicurezza, attraverso il controllo della compatibilità degli spostamenti e/o delle resistenze richieste alla struttura.

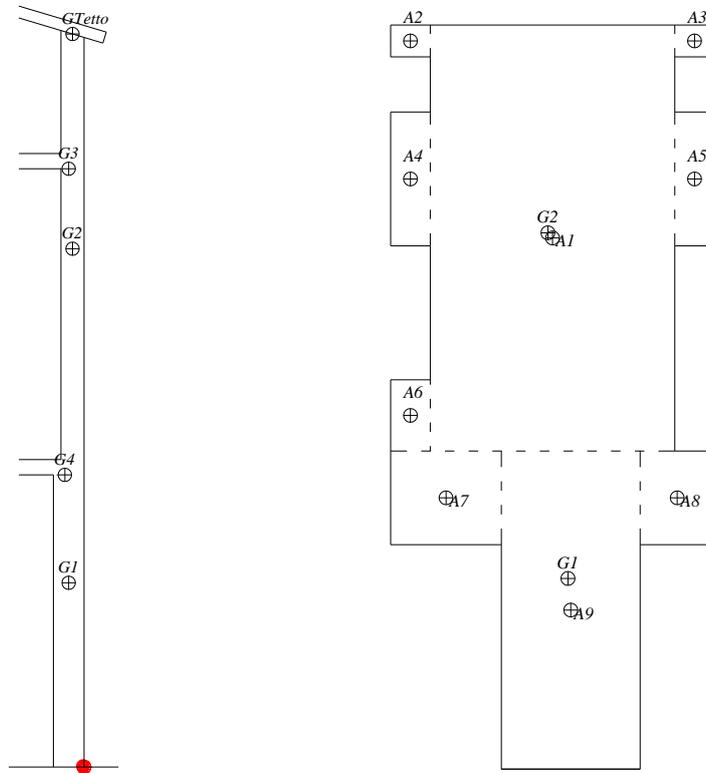
Per l'applicazione del metodo di analisi si ipotizza, in genere:

- resistenza nulla a trazione della muratura;
- assenza di scorrimento tra i blocchi;
- resistenza a compressione infinita della muratura.

Tuttavia, per una simulazione più realistica del comportamento, è opportuno considerare, in forma approssimata: a) gli scorrimenti tra i blocchi, considerando la presenza dell'attrito; b) le connessioni, anche di resistenza limitata, tra le pareti murarie; c) la presenza di catene metalliche; d) la limitata resistenza a compressione della muratura, considerando le cerniere adeguatamente arretrate rispetto allo spigolo della sezione; e) la presenza di pareti a paramenti scollegati.

### **10.3.1. Meccanismo di ribaltamento della facciata**

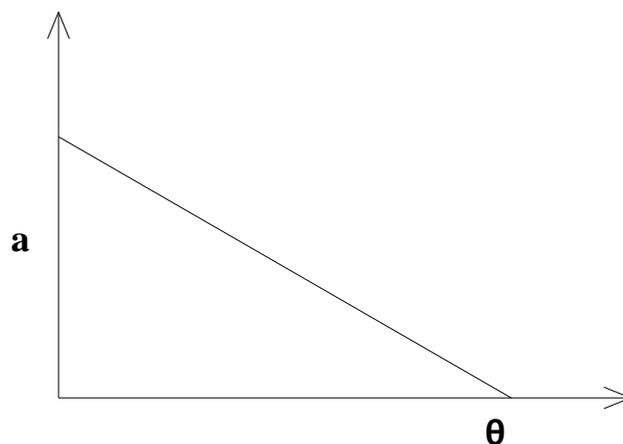
**Individuato il meccanismo di collasso, occorre determinare le forze agenti sul setto murario ed il loro punto di applicazione.**



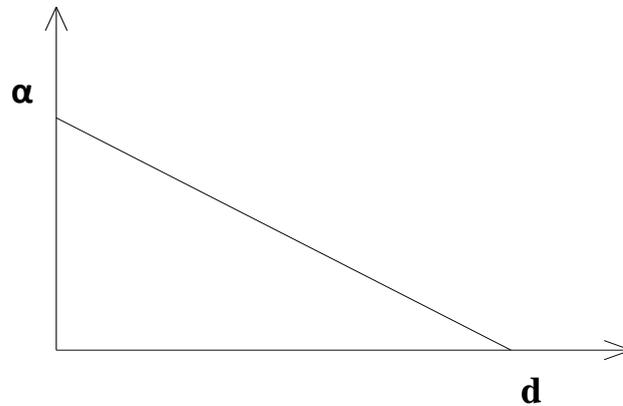
**Tramite l'equilibrio dei momenti nella condizione iniziale si determina l'accelerazione  $a$  di attivazione del cinematisimo.**

**Imponendo poi  $a=0$  si determina l'angolo  $\theta$  determinando così il limite del ribaltamento.**

**Ottengo quindi una curva  $a-\theta$ , tale curva, dato che consideriamo la forze agenti sulla parete invarianti durante l'evoluzione del cinematisimo, avrà andamento lineare.**



Imponendo un punto di controllo sulla sommità della parete, possiamo tracciare una nuova curva non più in funzione di  $\theta$ , ma dello spostamento  $d$  del punto di controllo.



Valuto ora la curva di capacità (oscillatore equivalente)

Valuto la massa partecipante al cinematismo considerando gli spostamenti virtuali dei punti di applicazione dei diversi pesi, associati al cinematismo:

$$M^* = \frac{(\sum_{i=1}^{n+m} P_i * \delta_{X,i})^2}{g * \sum_{i=1}^{n+m} P_i * \delta_{X,i}^2}$$

dove:

-  $n+m$  è il numero delle forze peso  $P_i$  applicate le cui masse, per effetto dell'azione sismica,

generano forze orizzontali sugli elementi della catena cinematica;

-  $\delta_{X,i}$  è lo spostamento virtuale orizzontale del punto di applicazione dell' $i$ -esimo peso  $P_i$ .

L'accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo vale:

$$a_0^* = \frac{\alpha_0 * \sum_{i=1}^{n+m} P_i}{M^* * FC}$$

-  $FC$  è il fattore di confidenza. Nel caso in cui per la valutazione del moltiplicatore  $\alpha$  non si tenga conto della resistenza a compressione della muratura, il fattore di confidenza da utilizzare sarà comunque quello relativo al livello di conoscenza LC1.

Lo spostamento spettrale  $d^*$  dell'oscillatore equivalente può essere ottenuto in via approssimata. Noto lo spostamento del punto di controllo  $d_k$  è possibile definire lo

spostamento spettrale equivalente con riferimento agli spostamenti virtuali valutati sulla configurazione iniziale:

$$d^* = d_k * \frac{\sum_{i=1}^{n+m} P_i * \delta_{X,i}^2}{\delta_{x,k} * \sum_{i=1}^{n+m} P_i * \delta_{X,i}}$$

**Verifiche di sicurezza:**

La verifica allo Stato limite di salvaguardia della vita dei meccanismi locali, può essere svolta con uno dei criteri seguenti.

**Verifica semplificata con fattore di struttura q (analisi cinematica lineare)**

Nel caso la verifica riguardi un elemento appoggiato a terra la verifica agli SLV è soddisfatta se l'accelerazione spettrale che attiva il meccanismo soddisfa la seguente disuguaglianza:

$$a_0^* \geq \frac{a_g(P_{Vr})S}{q}$$

q è il fattore di struttura, che può essere assunto uguale a 2.

Se invece il meccanismo locale interessa una porzione della costruzione posta ad una certa quota, si deve tener conto del fatto che l'accelerazione assoluta alla quota della porzione di edificio interessata dal cinematismo è in genere amplificata rispetto a quella al suolo.

In questo caso oltre alla disuguaglianza precedente, deve essere verificata anche la seguente:

$$a_0^* \geq \frac{S_e(T_1)\psi(Z)\gamma}{q}$$

$\psi(z)$  è il primo modo di vibrazione nella direzione considerata, normalizzato ad uno in sommità all'edificio; in assenza di valutazioni più accurate può essere assunto  $\psi(z)=z/H$ , dove H è l'altezza della struttura rispetto alla fondazione;

- Z è l'altezza, rispetto alla fondazione dell'edificio, del baricentro delle linee di vincolo tra i blocchi interessati dal meccanismo ed il resto della struttura;

-  $\gamma$  è il corrispondente coefficiente di partecipazione modale (in assenza di valutazioni più accurate può essere assunto  $\gamma = 3N/(2N+1)$ , con N numero di piani dell'edificio).

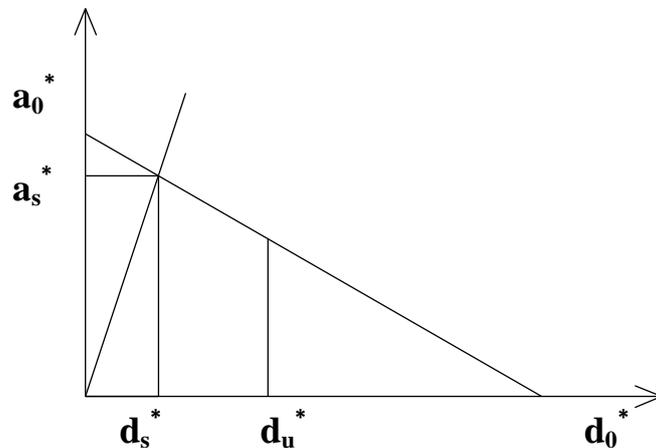
**Verifica mediante spettro di capacità (analisi cinematica non lineare)**

La verifica di sicurezza dei meccanismi locali nei confronti dello Stato limite di salvaguardia della vita consiste nel confronto tra la capacità di spostamento ultimo del meccanismo locale e la domanda di spostamento ottenuta dallo spettro di spostamento in corrispondenza del periodo secante  $T_s$ .

$$d_u^* = 0.4 * d_0^*$$

$$d_s^* = 0.4 * d_u^*$$

$$T_s = 2\pi \sqrt{\frac{d_s^*}{a_s^*}}$$



- nel caso in cui la verifica riguardi un elemento isolato o una porzione della costruzione comunque sostanzialmente appoggiata a terra:

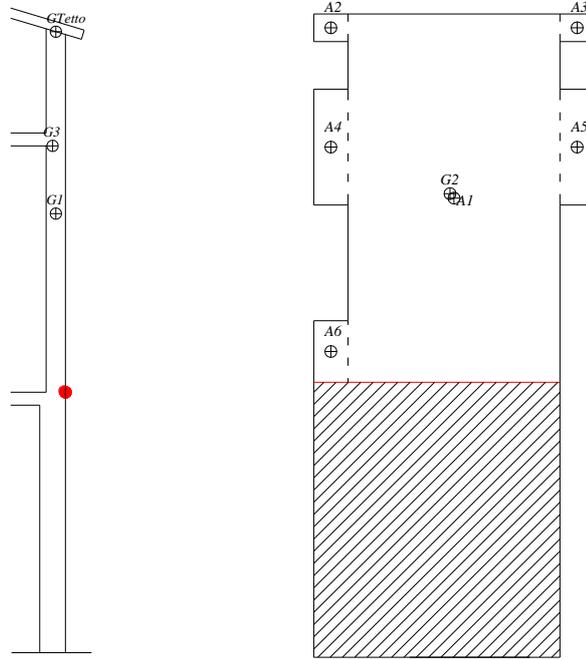
$$d_u^* \geq S_{De}(T_s)$$

- se invece il meccanismo locale interessa una porzione della costruzione posta ad una certa quota, deve essere considerato lo spettro di risposta in spostamento del moto alla quota della porzione di edificio interessata dal cinematismo. Dovrà quindi essere verificata anche la seguente disequazione:

$$d_u^* \geq \frac{S_{De}\psi(Z)\gamma}{\sqrt{\left(1 - \frac{T_s}{T_1}\right)^2 + 0.02 \frac{T_s}{T_1}}}$$

### 10.3.2. Applicazione al caso in esame:

#### 10.3.2.1. Ribaltamento della parete sopra al primo solaio:

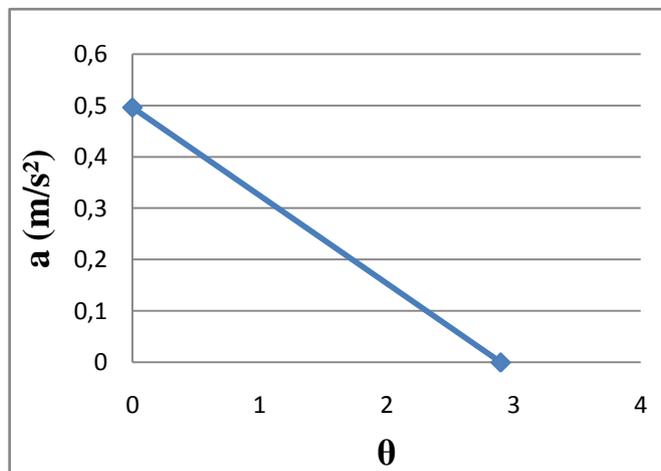


	W(Kg)	hG(cm)	XG(cm)
<b>Muratura</b>	<b>10411</b>	<b>277</b>	<b>-15</b>
<b>Tetto</b>	<b>797</b>	<b>559</b>	<b>-15</b>
<b>Solaio sottotetto</b>	<b>357</b>	<b>382</b>	<b>-20</b>

#### 1) Caso in assenza di catena:

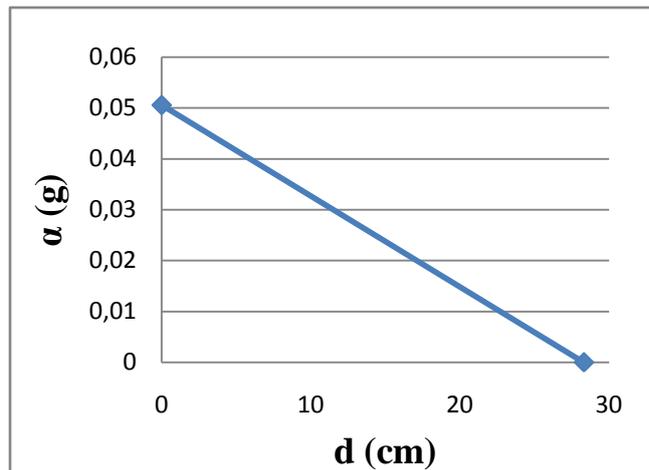
$$a_0 = 0,496 \text{ m/s}^2$$

$$\theta = 2,898$$



$\alpha_0 = 0,05056 \text{ g}$

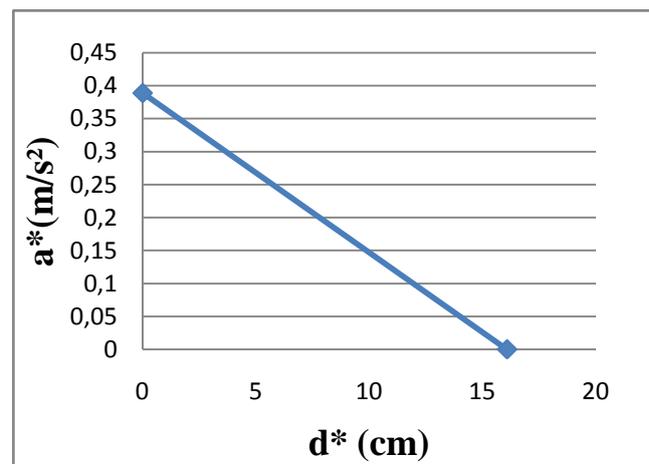
$d = 28,31 \text{ cm}$



$M^* = 1113$

$a_0^* = 0,389 \text{ m/s}^2$

$d_0^* = 16,08 \text{ cm}$



**Verifiche (analisi cinematica lineare)**

$a_0^* = 0,389 \quad \color{red}\boxtimes \quad 1,406$

$a_0^* = 0,389 \quad \color{red}\boxtimes \quad 3,042$

**Verifiche (analisi cinematica non lineare)**

$du^* = 6,432 \text{ cm}$

$ds^* = 2,573 \text{ cm}$

$as^* = 0,327 \text{ m/s}^2$

$Ts = 1,76 \text{ s}$

$SDe(Ts) = 14,52 \text{ cm}$

$du^* = 6,43 \quad \color{red}\boxtimes \quad 14,52$

$du^* = 6,43 \quad \color{red}\boxtimes \quad 2,77$

$du^*/SDe(Ts) = \color{red}\boxtimes \quad 0,44$

**Verifiche non soddisfatte**

## 2) Caso in presenza di catena:

Catene presenti nella parete: 3 $\Phi$ 14

Area totale catene: 4,62cm<sup>2</sup>

Larghezza totale parete: 14m

Larghezza setto in esame: 4,1m

Area catene riferita al setto: 1,35 cm<sup>2</sup>

Lunghezza catene: 12.37m

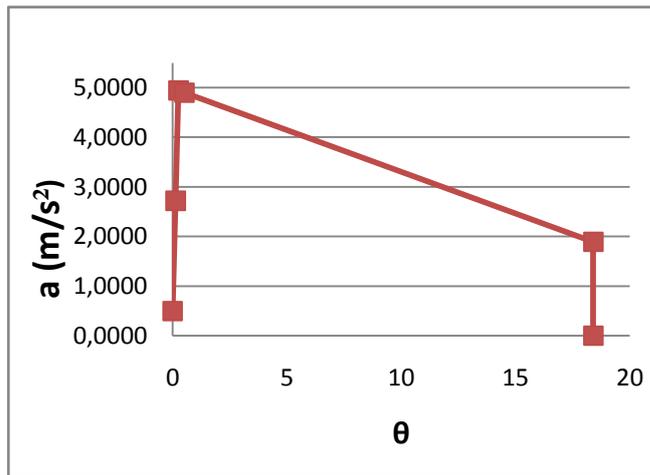
$f_y=3000$  daN/ cm<sup>2</sup>

$\epsilon_u=10\%$

$d_y= 1.77$ cm

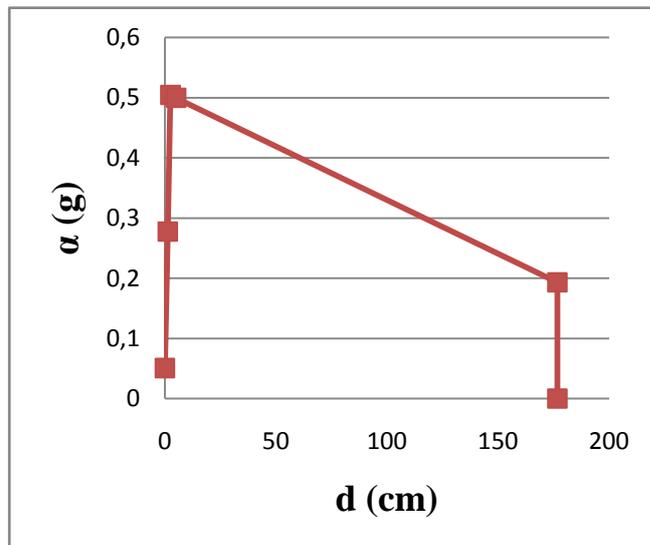
$a_0=4,94\text{m/s}^2$

$\theta=18,39$

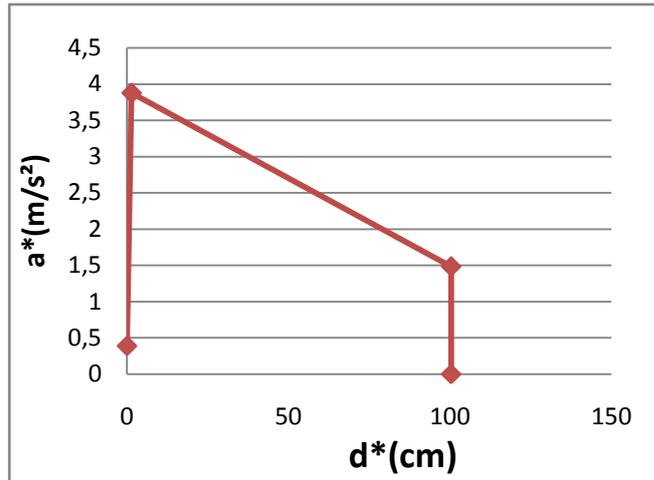


$\alpha_0= 0,504$  g

$d= 28,31$  cm



$M^*=1113$   
 $a_0^*=3,88 \text{ m/s}^2$   
 $d_0^*=100,35 \text{ cm}$



**Verifiche (analisi cinematica lineare)**

$a_0^* = 3,88 > 1,41$

$a_0^* = 3,88 > 1,74$

**Verifiche (analisi cinematica non lineare)**

$d_u^* = 30 \text{ cm}$

$d_s^* = 12 \text{ cm}$

$a_s^* = 3,62 \text{ m/s}^2$

$T_s = 1,14 \text{ s}$

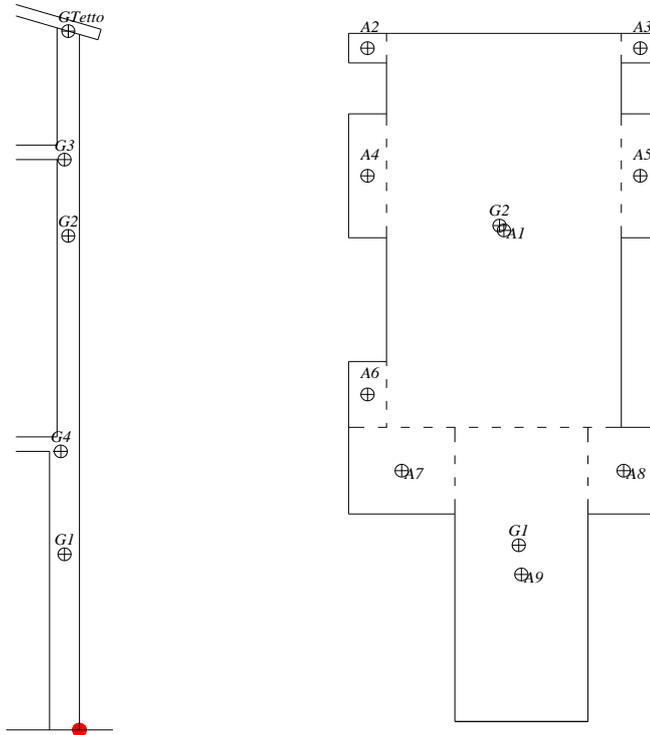
$SDe(T_s) = 9,39 \text{ cm}$

$d_u^* = 30 > 9,39$

$d_u^* = 30 > 3,12$

$d_u^*/SDe(T_s) = 3,19$

### 10.3.2.2. Ribaltamento dell'intera parete:

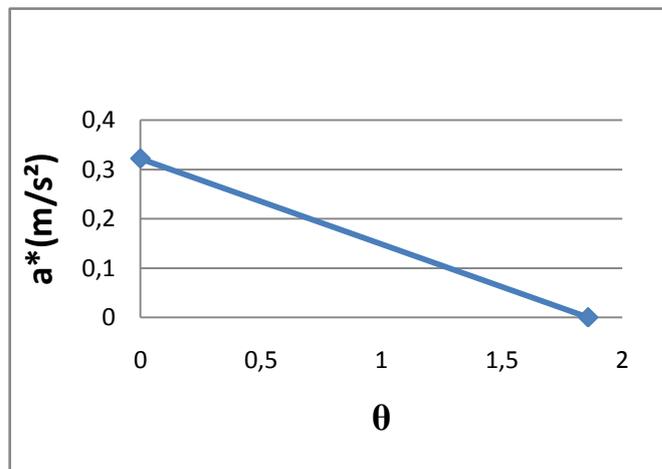


	W	hG	XG
<b>Muratura 2</b>	<b>10411,2</b>	<b>681,037</b>	<b>-15</b>
<b>Muratura 1</b>	<b>7106,4</b>	<b>242,097</b>	<b>-20</b>
<b>Tetto</b>	<b>797,68</b>	<b>963</b>	<b>-15</b>
<b>Solaio sottotetto</b>	<b>357,93</b>	<b>786</b>	<b>-15</b>
<b>Solaio primo piano</b>	<b>505,53</b>	<b>384</b>	<b>-20</b>

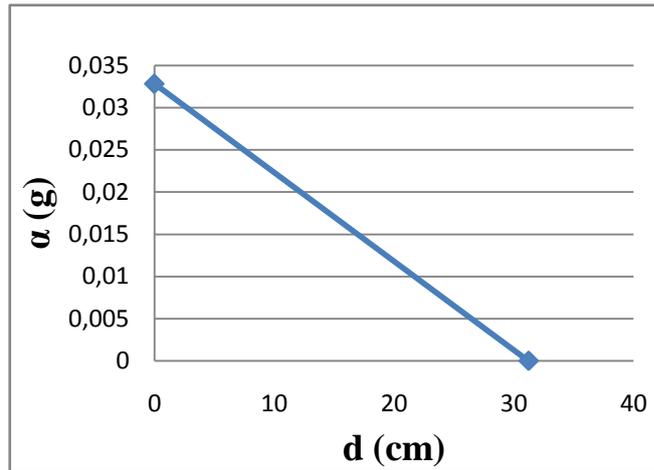
#### 1) Caso in assenza di catena:

$$a_0 = 0,322 \text{ m/s}^2$$

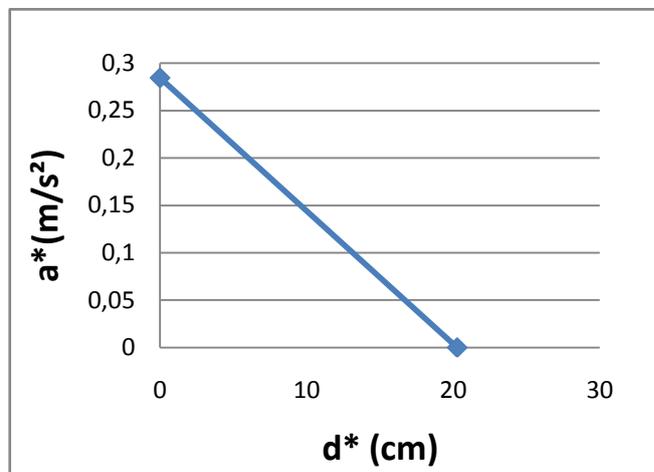
$$\theta = 1.858$$



$\alpha_0 = 0,0328$   
 $d = 31,23$



$M^* = 1640$   
 $a_0^* = 0,284$   
 $d_0^* = 20,258$



Verifiche (analisi cinematica lineare)

$a_0^* = 0,284 \ngtr 1,406$

Verifiche (analisi cinematica non lineare)

$du^* = 8,10 \text{ cm}$

$ds^* = 3,24 \text{ cm}$

$as^* = 0,239 \text{ m/s}^2$

$Ts = 2,315 \text{ s}$

$SDe(Ts) = 19,04 \text{ cm}$

$du^* = 8,10 \ngtr 19,04$

$du^*/SDe(Ts) = 0,425$

Verifiche non soddisfatte.

## 2) Caso in presenza di catena:

Catene presenti nella parete:  $3\Phi 14$

Area totale catene:  $4,62\text{cm}^2$

Larghezza totale parete:  $14\text{m}$

Larghezza setto in esame:  $4,1\text{m}$

Area catene riferita al setto:  $1,35\text{ cm}^2$

Lunghezza catene:  $12,37\text{m}$

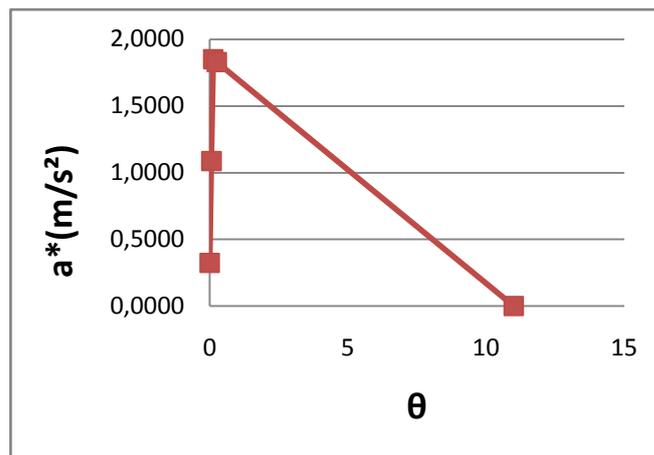
$f_y=3000\text{ daN/ cm}^2$

$\varepsilon_u=10\%$

$d_y= 1,77\text{cm}$

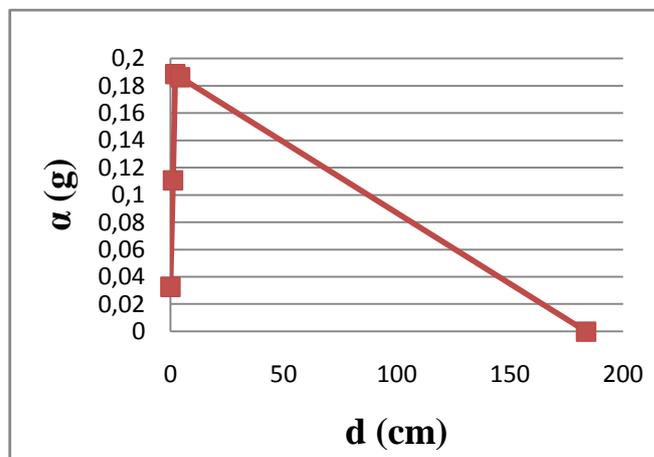
$a_0=1,85\text{ m/s}^2$

$\theta=10,99$

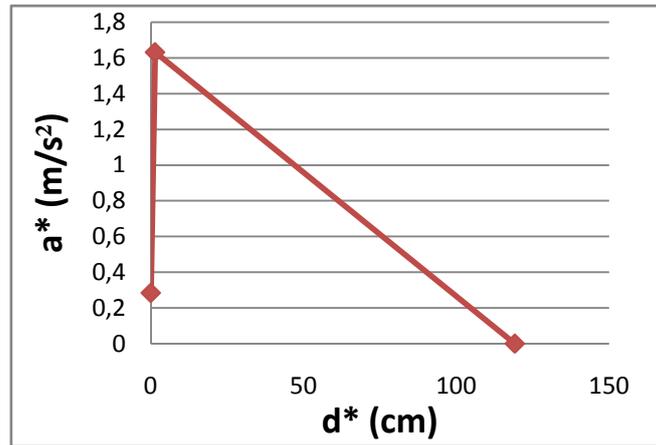


$\alpha_0= 0,189\text{ g}$

$d= 28,31\text{ cm}$



$M^*=1641$   
 $a_0^*=1,63 \text{ m/s}^2$   
 $d_0^*=119,14 \text{ cm}$



Verifiche (analisi cinematica lineare)

$a_0^* = 1,63 > 1,406$

Verifiche (analisi cinematica non lineare)

$du^* = 30 \text{ cm}$

$ds^* = 12 \text{ cm}$

$as^* = 1,485 \text{ m/s}^2$

$T_s = 1,79 \text{ s}$

$SDe(T_s) = 14,67 \text{ cm}$

$du^* = 30 > 14,67$

$du^*/SDe(T_s) = 2,04$

#### 10.4. Conclusioni

La verifica eseguita per i meccanismi di secondo modo di danno, risulta ampiamente soddisfatta nel caso di sisma agente perpendicolarmente alla strada, mentre non risulta soddisfatta nell'altra direzione.

Tuttavia l'attendibilità del modello usato, non considerando il contributo stabilizzante degli edifici a fianco dell'unità, risulta assai modesta.

Considerando che l'unità scelta si trova ben confinata da ambo i lati si pensa sia molto improbabile l'attivazione di tale meccanismo.

Dal confronto delle analisi si evince comunque che l'edificio entra in crisi per l'attivazione di meccanismi di primo modo di danno.

Risulta fondamentale, per la verifica di questi meccanismi, il contributo delle catene che garantiscono un efficace contenimento della parete.

## **11. Possibili interventi previsti da normativa**

Gli interventi di consolidamento vanno applicati, per quanto possibile, in modo regolare ed uniforme alle strutture. L'esecuzione di interventi su porzioni limitate dell'edificio va opportunamente valutata e giustificata calcolando l'effetto in termini di variazione nella distribuzione delle rigidezze. Nel caso si decida di intervenire su singole parti della struttura, va valutato l'effetto in termini di variazione nella distribuzione delle rigidezze. Particolare attenzione deve essere posta anche alla fase esecutiva degli interventi, onde assicurare l'efficacia degli stessi, in quanto l'eventuale cattiva esecuzione può comportare il peggioramento delle caratteristiche della muratura o del comportamento globale dell'edificio.

Le indicazioni che seguono non devono essere intese come un elenco di interventi da eseguire comunque e dovunque, ma solo come possibili soluzioni da adottare nei casi in cui siano dimostrate la carenza dello stato attuale del fabbricato ed il beneficio prodotto dall'intervento. Per quanto applicabile, i criteri e le tecniche esposte possono essere estesi ad altre tipologie costruttive in muratura.

### **11.1. Interventi volti a ridurre le carenze dei collegamenti**

Tali interventi sono mirati ad assicurare alla costruzione un buon comportamento d'insieme, mediante la realizzazione di un buon ammorsamento tra le pareti e di efficaci collegamenti dei solai alle pareti; inoltre, deve essere verificato che le eventuali spinte prodotte da strutture voltate siano efficacemente contrastate e deve essere corretto il malfunzionamento di tetti spingenti. La realizzazione di questi interventi è un prerequisito essenziale per l'applicazione dei metodi di analisi sismica globale dell'edificio, che si basano sul comportamento delle pareti murarie nel proprio piano, presupponendone la stabilità nei riguardi di azioni sismiche fuori dal piano.

L'inserimento di tiranti, metallici o di altri materiali, disposti nelle due direzioni principali del fabbricato, a livello dei solai ed in corrispondenza delle pareti portanti, ancorati alle murature mediante capochiave (a paletto o a piastra), può favorire il comportamento d'assieme del fabbricato, in quanto conferisce un elevato grado di connessione tra le murature ortogonali e fornisce un efficace vincolo contro il ribaltamento fuori piano dei pannelli murari. Inoltre, l'inserimento di tiranti migliora il comportamento nel piano di pareti forate, in quanto consente la formazione del meccanismo tirante-puntone nelle fasce murarie sopra porta e sotto finestra. Per i capochiave sono consigliati paletti semplici, in quanto vanno ad interessare una porzione di muratura maggiore rispetto alle piastre; queste sono preferibili nel caso di murature particolarmente scadenti, realizzate con elementi di piccole dimensioni (è in genere necessario un consolidamento locale della muratura, nella zona di ancoraggio). È sconsigliabile incassare il capochiave nello spessore della parete, specie nel caso di muratura a più paramenti scollegati.

Cerchiature esterne, in alcuni casi, si possono realizzare con elementi metallici o materiali compositi, allo scopo di "chiudere" la scatola muraria e di offrire un efficace collegamento tra murature ortogonali. Tale intervento può risultare efficace nel caso di edifici di dimensioni ridotte, dove i tratti rettilinei della cerchiatura non sono troppo estesi, o quando vengono realizzati ancoraggi in corrispondenza dei martelli murari. È necessario evitare l'insorgere di concentrazioni di tensioni in corrispondenza degli spigoli delle murature, ad esempio con opportune piastre di ripartizione o in alternativa, nel caso si usino fasce in materiale composito, procedendo allo smusso degli spigoli. Un'ideale ammorsatura, tra parti adiacenti o tra murature che si intersecano, si può realizzare, qualora i collegamenti tra elementi murari siano deteriorati (per la presenza di lesioni per danni sismici o di altra natura) o particolarmente scadenti; si precisa infatti che questi interventi di collegamento locale sono efficaci per il comportamento d'assieme della costruzione in presenza di murature di buone caratteristiche, mentre per le murature scadenti è preferibile l'inserimento di tiranti, che garantiscono un miglior collegamento complessivo. L'intervento si

realizza o attraverso elementi puntuali di cucitura (tecnica “scuci e cuci” con elementi lapidei o in laterizio) o collegamenti locali con elementi metallici o in altro materiale.

L’uso di perforazioni armate deve essere limitato ai casi in cui non siano percorribili le altre soluzioni proposte, per la notevole invasività di tali elementi e la dubbia efficacia, specie in presenza di muratura a più paramenti scollegati; in ogni caso dovrà essere garantita la durabilità degli elementi inseriti (acciaio inox, materiali compositi o altro) e la compatibilità delle malte iniettate. Anche in questo caso, l’eventuale realizzazione di un buon collegamento locale non garantisce un significativo miglioramento del comportamento d’insieme della costruzione.

Cordoli in sommità alla muratura possono costituire una soluzione efficace per collegare le pareti, in una zona dove la muratura è meno coesa a causa del limitato livello di compressione, e per migliorare l’interazione con la copertura; va invece evitata l’esecuzione di cordolature ai livelli intermedi, eseguite nello spessore della parete (specie se di muratura in pietrame), dati gli effetti negativi che le aperture in breccia producono nella distribuzione delle sollecitazioni sui paramenti.

Questi possono essere realizzati nei seguenti modi:

- in muratura armata, consentendo di realizzare il collegamento attraverso una tecnica volta alla massima conservazione delle caratteristiche murarie esistenti. Essi, infatti, devono essere realizzati con una muratura a tutto spessore e di buone caratteristiche; in genere la soluzione più naturale è l’uso di una muratura in mattoni pieni. All’interno deve essere alloggiata un’armatura metallica o in altro materiale resistente a trazione, resa aderente alla muratura del cordolo tramite conglomerato, ad esempio malta cementizia. La realizzazione di collegamenti tra cordolo e muratura, eseguita tramite perfori armati disposti con andamento inclinato, se necessaria risulta efficace solo in presenza di muratura di buona qualità. Negli altri casi è opportuno eseguire un consolidamento della muratura nella parte sommitale della parete ed affidarsi all’aderenza ed al contributo dell’attrito, da incrementare mediante sagomature (ad es. indentature diagonali) della superficie di appoggio del cordolo.

- in acciaio, rappresentando una valida alternativa per la loro leggerezza e la limitata invasività.

Essi possono essere eseguiti attraverso una leggera struttura reticolare, in elementi angolari e piatti metallici, o tramite piatti o profili sui due paramenti, collegati tra loro tramite barre passanti; in entrambi i casi è possibile realizzare un accettabile collegamento alla muratura senza la necessità di ricorrere a perfori armati. In presenza di muratura di scarsa qualità, l'intervento deve essere accompagnato da un'opera di bonifica della fascia di muratura interessata. I cordoli metallici si prestano particolarmente bene al collegamento degli elementi lignei della copertura e contribuiscono all'eliminazione delle eventuali spinte.

- in c.a., solo se di altezza limitata, per evitare eccessivi appesantimenti ed irrigidimenti, che si sono dimostrati dannosi in quanto producono elevate sollecitazioni tangenziali tra cordolo e muratura, con conseguenti scorrimenti e disgregazione di quest'ultima. In particolare, tali effetti si sono manifestati nei casi in cui anche la struttura di copertura era stata irrigidita ed appesantita. Nel caso di cordolo in c.a. è in genere opportuno un consolidamento della muratura in prossimità dello stesso, in quanto comunque è diversa la rigidità dei due elementi. Il collegamento tra cordolo e muratura può essere migliorato tramite perfori armati, alle condizioni già illustrate in precedenza.

L'efficace connessione dei solai di piano e delle coperture alle murature è necessaria per evitare lo sfilamento delle travi, con conseguente crollo del solaio, e può permettere ai solai di svolgere un'azione di distribuzione delle forze orizzontali e di contenimento delle pareti. I collegamenti possono essere effettuati in posizioni puntuali, eseguiti ad esempio in carotaggi all'interno delle pareti, e allo stesso tempo non devono produrre un disturbo eccessivo ed il danneggiamento della muratura. Nel caso di solai intermedi, le teste di travi lignee possono essere ancorate alla muratura tramite elementi, metallici o in altro materiale resistente a trazione, ancorati sul paramento opposto.

Devono essere evitati cordoli inseriti nello spessore della muratura ai livelli intermedi, mentre possono risultare utili cordoli in acciaio, realizzati con piatti o profili sui due paramenti, collegati tra loro tramite barre passanti. Essi forniscono

una certa rigidità flessionale fuori dal piano della parete e ostacolano lo sviluppo di meccanismi di rottura delle fasce sopra porta e sotto finestra (meccanismo tirante-puntone).

## **11.2. interventi sugli archi e sulle volte**

Gli interventi sulle strutture ad arco o a volta possono essere realizzati con il ricorso alla tradizionale tecnica delle catene, che compensino le spinte indotte sulle murature di appoggio e ne impediscano l'allontanamento reciproco. Le catene andranno poste di norma alle reni di archi e volte. Qualora non sia possibile questa disposizione, si potranno collocare le catene a livelli diversi purché ne sia dimostrata l'efficacia nel contenimento della spinta. Tali elementi devono essere dotati di adeguata rigidità (sono da preferirsi barre di grosso diametro e lunghezza, per quanto possibile, limitata); le catene devono essere poste in opera con un'adeguata presollecitazione, in modo da assorbire parte dell'azione spingente valutata tramite il calcolo (valori eccessivi del tiro potrebbero indurre danneggiamenti localizzati). In caso di presenza di lesioni e/o deformazioni, la riparazione deve ricostituire i contatti tra le parti separate, onde garantire che il trasferimento delle sollecitazioni interessi una adeguata superficie e consentire una idonea configurazione resistente.

Per assorbire le spinte di volte ed archi non deve essere esclusa a priori la possibilità di realizzare contrafforti o ringrossi murari. Questi presentano un certo impatto visivo sulla costruzione ma risultano, peraltro, reversibili e coerenti con i criteri di conservazione. La loro efficacia è subordinata alla creazione di un buon ammorsamento con la parete esistente, da eseguirsi tramite connessioni discrete con elementi lapidei o in laterizio, ed alla possibilità di realizzare una fondazione adeguata.

È possibile il ricorso a tecniche di placcaggio all'estradosso con fasce di materiale composito. La realizzazione di contro-volte in calcestruzzo o simili, armate o no, è da evitarsi per quanto possibile e, se ne viene dimostrata la necessità, va eseguita con conglomerato alleggerito e di limitato spessore. Il placcaggio all'intradosso con materiali compositi è efficace se associato alla realizzazione di un sottarco, in grado

di evitare le spinte a vuoto, o attraverso ancoraggi puntuali, diffusi lungo l'intradosso.

### **11.3 Interventi volti a ridurre l'eccessiva deformabilità dei solai**

Il ruolo dei solai nel comportamento sismico delle costruzioni in muratura è quello di trasferire le azioni orizzontali di loro competenza alle pareti disposte nella direzione parallela al sisma; inoltre essi devono costituire un vincolo per le pareti sollecitate da azioni ortogonali al proprio piano. La necessità di un irrigidimento per ripartire diversamente l'azione sismica tra gli elementi verticali è invece non così frequente. Per le suddette ragioni risulta talvolta necessario un irrigidimento dei solai, anche limitato, di cui vanno valutati gli effetti; a questo si associa inevitabilmente un aumento della resistenza degli elementi, che migliora la robustezza della struttura.

L'irrigidimento dei solai, anche limitato, per ripartire diversamente l'azione sismica tra gli elementi verticali comporta in genere un aumento della resistenza, che migliora la robustezza della struttura.

Nel caso dei solai lignei può essere conseguito operando all'estradosso sul tavolato. Una possibilità è fissare un secondo tavolato su quello esistente, disposto con andamento ortogonale o inclinato, ponendo particolare attenzione ai collegamenti con i muri laterali; in alternativa, o in aggiunta, si possono usare rinforzi con bandelle metalliche, o di materiali compositi, fissate al tavolato con andamento incrociato. Un analogo beneficio può essere conseguito attraverso controventature realizzate con tiranti metallici. Il consolidamento delle travi lignee potrà avvenire aumentando la sezione portante in zona compressa, mediante l'aggiunta di elementi opportunamente connessi.

Nei casi in cui risulti necessario un consolidamento statico del solaio per le azioni flessionali, è possibile, con le tecniche legno-legno, conseguire contemporaneamente l'irrigidimento nel piano e fuori dal piano, posando sul tavolato esistente, longitudinalmente rispetto alle travi dell'orditura, dei nuovi tavoloni continui, resi collaboranti alle travi mediante perni anche di legno, irrigiditi nel piano del solaio con l'applicazione di un secondo tavolato di finitura.

La tecnica di rinforzo con soletta collaborante, in calcestruzzo eventualmente leggero, realizza anche un forte irrigidimento nel piano del solaio; gli effetti di tale intervento vanno valutati sia in relazione alla ripartizione delle azioni tra gli elementi verticali sia all'aumento delle masse. Nel caso in cui gli elementi lignei non siano adeguatamente collegati alle murature, è necessario collegare la soletta alle pareti, tramite elementi puntuali analoghi a quelli già indicati, o ai cordoli, se presenti e realizzati come successivamente descritto.

Nel caso di solai a travi in legno e piastrelle di cotto, che presentano limitata resistenza nel piano, possono essere adottati interventi di irrigidimento all'estradosso con caldane armate in calcestruzzo alleggerito, opportunamente collegate alle murature perimetrali ed alle travi in legno.

Nel caso di solai a putrelle e voltine o tavelloni è opportuno provvedere all'irrigidimento mediante solettina armata resa solidale ai profilati e collegata alle murature perimetrali.

Nel caso di solai a struttura metallica, con interposti elementi in laterizio, è necessario collegare tra loro i profili saldando bandelle metalliche trasversali, poste all'intradosso o all'estradosso. Inoltre, in presenza di luci significative, gli elementi di bordo devono essere collegati in mezzzeria alla muratura (lo stesso problema si pone anche per i solai lignei a semplice orditura).

#### **11.4. Interventi in copertura**

È in linea generale opportuno il mantenimento dei tetti in legno, in quanto limitano l'entità delle masse nella parte più alta dell'edificio e garantiscono un'elasticità simile a quella della compagine muraria sottostante.

È opportuno, ove possibile, adottare elementi di rafforzamento del punto di contatto tra muratura e tetto. Oltre al collegamento con capichave metallici che impediscano la traslazione, si possono realizzare cordoli-tirante in legno o in metallo opportunamente connessi sia alle murature che alle orditure in legno del tetto (cuffie metalliche), a formare al tempo stesso un bordo superiore delle murature resistente a trazione, un elemento di ripartizione dei carichi agli appoggi

delle orditure del tetto e un vincolo assimilabile ad una cerniera tra murature e orditure.

Ove i tetti presentino orditure spingenti, come nel caso di puntoni inclinati privi di semicatene in piano, la spinta deve essere compensata.

Nel caso delle capriate, deve essere presente un buon collegamento nei nodi, necessario ad evitare scorrimenti e distacchi in presenza di azioni orizzontali. Questo può essere migliorato con elementi metallici o in altri materiali idonei resistenti a trazione, ma tale collegamento non deve comunque contrastare il movimento reciproco (rotazionale) delle membrature, condizione essenziale per il corretto funzionamento della capriata.

In generale, vanno il più possibile sviluppati i collegamenti e le connessioni reciproche tra la parte terminale della muratura e le orditure e gli impalcati del tetto, ricercando le configurazioni e le tecniche compatibili con le diverse culture costruttive locali.

### **11.5. Interventi che modificano la distribuzione degli elementi verticali resistenti**

L'inserimento di nuove pareti può consentire di limitare i problemi derivanti da irregolarità planimetriche o altimetriche ed aumentare la resistenza all'azione sismica; tali effetti devono ovviamente essere adeguatamente verificati.

La realizzazione di nuove aperture, se non strettamente necessaria, va possibilmente evitata; nel caso in cui la conseguente riduzione di rigidità risulti problematica per la risposta globale, sarà disposto un telaio chiuso, di rigidità e resistenza tali da ripristinare per quanto possibile la condizione preesistente.

Un incremento della rigidità delle pareti murarie, con conseguente modifica del comportamento sismico, si ottiene attraverso la chiusura di nicchie, canne fumarie o altri vuoti, purché venga realizzato un efficace collegamento dei nuovi elementi di muratura con quelli esistenti attraverso la tecnica dello scuci e cuci. La chiusura di queste soluzioni di continuità nella compagine muraria rappresenta anche un intervento positivo nei riguardi dei collegamenti.

## **11.6. Interventi volti ad incrementare la resistenza nei maschi murari**

Gli interventi di rinforzo delle murature sono mirati al risanamento e riparazione di murature deteriorate e danneggiate ed al miglioramento delle proprietà meccaniche della muratura. Se eseguiti da soli non sono sufficienti, in generale, a ripristinare o a migliorare l'integrità strutturale complessiva della costruzione. Il tipo di intervento da applicare andrà valutato anche in base alla tipologia e alla qualità della muratura. Gli interventi dovranno utilizzare materiali con caratteristiche fisico-chimiche e meccaniche analoghe e, comunque, il più possibile compatibili con quelle dei materiali in opera. L'intervento deve mirare a far recuperare alla parete una resistenza sostanzialmente uniforme e una continuità nella rigidità, anche realizzando gli opportuni ammorsamenti, qualora mancanti. L'inserimento di materiali diversi dalla muratura, ed in particolare di elementi in conglomerato cementizio, va operato con cautela e solo ove il rapporto tra efficacia ottenuta e impatto provocato sia minore di altri interventi, come nel caso di architravi danneggiati e particolarmente sollecitati.

A seconda dei casi si procederà:

- a riparazioni localizzate di parti lesionate o degradate;
- a ricostituire la compagine muraria in corrispondenza di manomissioni quali cavità, vani di varia natura (scarichi e canne fumarie, ecc.);
- a migliorare le caratteristiche di murature particolarmente scadenti per tipo di apparecchiatura e/o di composto legante.

L'intervento di scuci e cuci è finalizzato al ripristino della continuità muraria lungo le linee di fessurazione ed al risanamento di porzioni di muratura gravemente deteriorate. Si consiglia di utilizzare materiali simili a quelli originari per forma, dimensioni, rigidità e resistenza, collegando i nuovi elementi alla muratura esistente con adeguate ammorsature nel piano del paramento murario e se possibile anche trasversalmente al paramento stesso, in modo da conseguire la massima omogeneità e monoliticità della parete riparata. Tale intervento può essere utilizzato anche per la chiusura di nicchie, canne fumarie e per la riduzione

dei vuoti, in particolare nel caso in cui la nicchia/apertura/cavità sia posizionata a ridosso di angolate o martelli murari.

L'adozione di iniezioni di miscele leganti mira al miglioramento delle caratteristiche meccaniche della muratura da consolidare. A tale tecnica, pertanto, non può essere affidato il compito di realizzare efficaci ammorsature tra i muri e quindi di migliorare, se applicata da sola, il comportamento d'insieme della costruzione. Tale intervento risulta inefficace se impiegato su tipologie murarie che per loro natura siano scarsamente iniettabili (scarsa presenza di vuoti e/o vuoti non collegati tra loro). Particolare attenzione va posta nella scelta della pressione di immissione della miscela, per evitare l'insorgere di dilatazioni trasversali prodotte dalla miscela in pressione.

Nel caso si reputi opportuno intervenire con iniezioni su murature incoerenti e caotiche, è necessario prendere provvedimenti atti a ridurre il rischio di sconnessione della compagine muraria e di dispersione della miscela. Particolare cura dovrà essere rivolta alla scelta della miscela da iniettare, curandone la compatibilità chimico-fisico-meccanica con la tipologia muraria oggetto dell'intervento.

L'intervento di ristilatura dei giunti, se effettuato in profondità su entrambi i lati, può migliorare le caratteristiche meccaniche della muratura, in particolare nel caso di murature di spessore non elevato. Se eseguito su murature di medio o grosso spessore, con paramenti non idoneamente collegati tra loro o incoerenti, tale intervento può non essere sufficiente a garantire un incremento consistente di resistenza, ed è consigliabile effettuarlo in combinazione con altri. Particolare cura dovrà essere rivolta alla scelta della malta da utilizzare. L'eventuale inserimento nei giunti ristilati di piccole barre o piattine, metalliche o in altri materiali resistenti a trazione, può ulteriormente migliorare l'efficacia dell'intervento.

L'inserimento di diatoni artificiali, realizzati in conglomerato armato (in materiale metallico o in altri materiali resistenti a trazione) dentro fori di carotaggio, può realizzare un efficace collegamento tra i paramenti murari, evitando il distacco di uno di essi o l'insorgere di fenomeni di instabilità per compressione; inoltre, tale intervento conferisce alla parete un comportamento monolitico per azioni

ortogonali al proprio piano. È particolarmente opportuno in presenza di murature con paramenti non collegati fra loro; nel caso di paramenti degradati è opportuno bonificare questi tramite le tecniche descritte al riguardo (iniezioni di malta, ristilatura dei giunti).

Nel caso in cui la porzione muraria che necessita di intervento sia limitata, una valida alternativa è rappresentata dai tirantini antiespulsivi, costituiti da sottili barre trasversali imbullonate con rondelle sui paramenti; la leggera presollecitazione che può essere attribuita rende quest'intervento idoneo nei casi in cui siano già evidenti rigonfiamenti per distacco dei paramenti. Tale tecnica può essere applicata nel caso di murature a tessitura regolare o in pietra squadrata, in mattoni o blocchi.

L'adozione di sistemi di tirantature diffuse nelle tre direzioni ortogonali, in particolare anche nella direzione trasversale, migliorano la monoliticità ed il comportamento meccanico del corpo murario, incrementandone la resistenza a taglio e a flessione nel piano e fuori del piano.

Il placcaggio delle murature con intonaco armato può essere utile nel caso di murature gravemente danneggiate e incoerenti, sulle quali non sia possibile intervenire efficacemente con altre tecniche, o in porzioni limitate di muratura, pesantemente gravate da carichi verticali, curando in quest'ultimo caso che la discontinuità di rigidità e resistenza tra parti adiacenti, con e senza rinforzo, non sia dannosa ai fini del comportamento della parete stessa. L'uso sistematico su intere pareti dell'edificio è sconsigliato, per il forte incremento di rigidità e delle masse, oltre che per ragioni di natura conservativa e funzionale. Tale tecnica è efficace solo nel caso in cui l'intonaco armato venga realizzato su entrambi i paramenti e siano posti in opera i necessari collegamenti trasversali (barre iniettate) bene ancorati alle reti di armatura. È inoltre fondamentale curare l'adeguata sovrapposizione dei pannelli di rete elettrosaldata, in modo da garantire la continuità dell'armatura in verticale ed in orizzontale, ed adottare tutti i necessari provvedimenti atti a garantire la durabilità delle armature, se possibile utilizzando reti e collegamenti in acciaio inossidabile, Il placcaggio con tessuti o

lamine in altro materiale resistente a trazione può essere di norma utilizzato nel caso di murature regolari, in mattoni o blocchi. Tale intervento, più efficace se realizzato su entrambi i paramenti, da solo non garantisce un collegamento trasversale e quindi la sua efficacia deve essere accuratamente valutata per il singolo caso in oggetto.

L'inserimento di tiranti verticali post-tesi è un intervento applicabile solo in casi particolari e se la muratura si dimostra in grado di sopportare l'incremento di sollecitazione verticale, sia a livello globale sia localmente, in corrispondenza degli ancoraggi; in ogni caso deve essere tenuta in considerazione la perdita di tensione iniziale a causa delle deformazioni differite della muratura.

### **11.7. Interventi su pilastri e colonne**

Tenendo presente che pilastri e colonne sono essenzialmente destinati a sopportare carichi verticali con modeste eccentricità, gli interventi vanno configurati in modo da:

- ricostituire la resistenza iniziale a sforzo normale, ove perduta, mediante provvedimenti quali cerchiature e tassellature;
- eliminare o comunque contenere le spinte orizzontali mediante provvedimenti, quali opposizione di catene ad archi, volte e coperture e, ove opportuno, realizzazione o rafforzamento di contrafforti;
- ricostituire i collegamenti atti a trasferire le azioni orizzontali a elementi murari di maggiore rigidità.

Sono da evitare, se non in mancanza di alternative da dimostrare con dettagliata specifica tecnica, gli inserimenti generalizzati di ancore metalliche, perforazioni armate, precompressioni longitudinali ed in generale, salvo i casi di accertata necessità, gli interventi non reversibili volti a conferire a colonne e pilastri resistenza a flessione e taglio, che modificano il comportamento di insieme della struttura.

### **11.8. Interventi volti a rinforzare le pareti intorno alle aperture**

Negli interventi di inserimento di architravi o cornici in acciaio o calcestruzzo di adeguata rigidezza e resistenza, occorre curare il perfetto contatto o la messa in forza con la muratura esistente.

### **11.9 Interventi alle scale**

Per tutti gli interventi riguardanti scale in muratura portante, si possono effettuare interventi di rinforzo curando di non alterarne i caratteri architettonici e il loro valore tipologico e formale, se presente.

### **11.10. Interventi volti ad assicurare i collegamenti degli elementi non strutturali**

Occorre verificare i collegamenti dei più importanti elementi non strutturali (cornicioni, parapetti, camini), tenendo conto della possibile amplificazione delle accelerazioni lungo l'altezza dell'edificio.

### **11.11. Interventi in fondazione**

Le informazioni ricavabili dalla storia della costruzione devono essere tenute nel dovuto conto ai fini della scelta degli interventi sulle fondazioni. È in genere possibile omettere interventi sulle strutture di fondazione, nonché le relative verifiche, qualora siano contemporaneamente presenti tutte le condizioni seguenti:

- x) nella costruzione non siano presenti importanti dissesti di qualsiasi natura attribuibili a cedimenti delle fondazioni e sia stato accertato che dissesti della stessa natura non si siano prodotti neppure in precedenza;
- y) gli interventi progettati non comportino sostanziali alterazioni dello schema strutturale del fabbricato;
- z) gli stessi interventi non comportino rilevanti modificazioni delle sollecitazioni trasmesse alle fondazioni;
- aa) siano esclusi fenomeni di ribaltamento della costruzione per effetto delle azioni sismiche.

L'inadeguatezza delle fondazioni è raramente la causa del danneggiamento osservato nei rilevamenti post-sisma. Comunque, nel caso in cui la fondazione poggi su terreni dalle caratteristiche geomeccaniche inadeguate al trasferimento dei carichi, o di cedimenti fondali localizzati in atto si provvederà al consolidamento delle fondazioni, attuando uno dei seguenti tipi di intervento, o una loro combinazione opportuna, o interventi equipollenti, previo rilievo delle fondazioni esistenti.

**Allargamento della fondazione mediante cordoli in c.a. o una platea armata.**

L'intervento va realizzato in modo tale da far collaborare adeguatamente le fondazioni esistenti con le nuove, curando in particolare la connessione fra nuova e vecchia fondazione al fine di ottenere un corpo monolitico atto a diffondere le tensioni in modo omogeneo. Deve essere realizzato un collegamento rigido (travi in c.a. armate e staffate, traversi in acciaio di idonea rigidità, barre post-tese che garantiscono una trasmissione per attrito) in grado di trasferire parte dei carichi provenienti dalla sovrastruttura ai nuovi elementi. In presenza di possibili cedimenti differenziali della fondazione è opportuno valutarne gli effetti sull'intero fabbricato, e decidere di conseguenza la necessaria estensione dell'intervento di allargamento.

**Consolidamento dei terreni di fondazione.**

Gli interventi di consolidamento dei terreni possono essere effettuati mediante iniezioni di miscele cementizie, resine (ad es. poliuretani che si espandono nel terreno), od altre sostanze chimiche.

**Inserimento di sottofondazioni profonde (micropali, pali radice).**

L'esecuzione di questo tipo di intervento può essere effettuata in alternativa al precedente; nel caso di cedimenti che interessino singole porzioni di fabbricato, l'intervento può essere effettuato anche limitatamente alle porzioni interessate, purché omogenee dal punto di vista delle problematiche fondali. Si dovrà in generale prevedere un'idonea struttura di collegamento tra micropali e muratura esistente (ad es. un cordolo armato rigidamente connesso alla muratura), a meno che i micropali stessi non siano trivellati attraverso la muratura, con una

lunghezza di perforazione sufficiente a trasferire i carichi ai micropali per aderenza.

Nelle situazioni in cui si ritiene possibile l'attivazione sismica di fenomeni d'instabilità del pendio, il problema va affrontato agendo sul terreno e non semplicemente a livello delle strutture di fondazione.

### **11.12. Realizzazione di giunti sismici**

La realizzazione di giunti può essere opportuna nei casi di strutture adiacenti con marcate differenze di altezza che possano martellare e quindi dar luogo a concentrazioni di danno in corrispondenza del punto di contatto con la sommità della struttura più bassa. Tale situazione è molto frequente nei centri storici, dove gli edifici in muratura sono spesso costruiti in aderenza l'uno all'altro e frequentemente sono connessi strutturalmente, magari in modo parziale. In tali casi tuttavia la realizzazione di giunti sismici può risultare di fatto impraticabile e volte addirittura non raccomandabile, in quanto potrebbe introdurre perturbazioni notevoli e di difficile valutazione all'equilibrio di un sistema molto complesso. In alternativa, si può valutare nella possibilità di realizzare il collegamento strutturale; in particolare, il collegamento può essere realizzato a livello dei solai se: a) i solai sono approssimativamente complanari, b) il complesso risultante ha caratteristiche di simmetria e regolarità non peggiori di quelle delle due parti originarie.

## **12. Conclusioni**

Con lo svolgimento della tesi si è voluto seguire un percorso conoscitivo dell'aggregato in oggetto che ha permesso di individuare la sua storia evolutiva.

Ciò ha permesso di individuare eventuali carenze strutturali causate da interventi che si sono susseguiti durante la sua storia e che l'hanno allontanato da quel rigore costruttivo dato dalla Regola d'Arte.

**Le saturazioni, gli ampliamenti e le rifusioni che si sono susseguite nella vita del fabbricato lo hanno da un lato adattato alle mutate esigenze d'uso dovute ai cambiamenti della società, dall'altro hanno causato gran parte di quelle vulnerabilità sismiche che oggi limitano quel livello di sicurezza auspicabile per l'uso cui è destinato.**

**Data la rilevanza che hanno queste carenze sul comportamento della struttura, sarebbe auspicabile che i Comuni si dotassero di tali strumenti per consentire al progettista, chiamato ad intervenire su una singola unità abitativa, di verificare l'esistenza di tali vulnerabilità e di porvi rimedio.**

**Gli interventi devono essere finalizzati a risarcire quelle carenze date dal mancato ammorsamento di molte murature e a ricostituire quel comportamento scatolare che permette ad una struttura in muratura di resistere alle azioni sismiche.**

## **BIBLIOGRAFIA**

### **TESTI:**

- 1) **“Castel Bolognese: un paese che cambia”, Nonni E., Castel Bolognese 1985**
- 2) **“Castel Bolognese: archeologia di un centro di nuova fondazione”, Gelichi S., Firenze 1990**
- 3) **“Castel Bolognese: il territorio dalla preistoria al medioevo”, Brunetti V. – Zama F., Castel Bolognese 1985**
- 4) **“Castel Bolognese fra cronaca e storia”, Grandi T., Castel Bolognese 1984**
- 5) **“Un paese della Romagna. Castel Bolognese nel ‘700”, Costa P., Imola 1974**
- 6) **“Un paese che cambia. Castel Bolognese tra 2 battaglie: 1797 – 1945”, Costa P., Imola 1971**
- 7) **“Cenni storici e biografici di Castel Bolognese”, Emiliani G., Bologna 1896**
- 8) **“Il territorio di Castel Bolognese”, Diversi O., Imola 1972**
- 9) **“La fondazione di Castel Bolognese: 1389 - 1989”, Badiali E., 1989**
- 10) **“Il territorio di Castel Bolognese nel medioevo”, Zimbelli E., Imola 1999**
- 11) **“Il castello bolognese: genesi e sviluppo (1388 – 1516)”, Donati L., 1996**
- 12) **“Saluti da Castel Bolognese”, Sangiorgi P.P., Faenza 2000**
- 13) **“Castel Bolognese nelle immagini del passato”, Galli U., Imola 1983**
- 14) **“Manuale del recupero strutturale antisismico” Giovanni Cangi, DEI Tipografia del genio civile. 2005**
- 15) **“Recupero edilizio e prevenzione sismica”. DEI Tipografia del genio civile.**

### **SITI INTERNET:**

- a) [www.comune.castelbolognese.ra.it](http://www.comune.castelbolognese.ra.it)
- b) [www.castelbolognese.org](http://www.castelbolognese.org)
- c) [www.castelbolognese.iobloggo.com](http://www.castelbolognese.iobloggo.com)
- d) [www.wikipedia.org/castelbolognese](http://www.wikipedia.org/castelbolognese)

