

# Vulnerabilità e rischio di danneggiamento degli edifici<sup>(8)</sup>

COLOZZA R. (\*), DOLCE M. (\*\*)

## Introduzione

La vulnerabilità sismica degli edifici è intesa, in termini generali, come la suscettibilità degli edifici ad essere danneggiati dai terremoti. La valutazione della vulnerabilità di un edificio è finalizzata alla predizione del danno prodotto da futuri eventi sismici. Essendo tale predizione affetta da notevoli incertezze, legate da un lato all'aleatorietà delle caratteristiche strutturali dall'altro alla loro non perfetta conoscibilità, una definizione operativa, finalizzata all'analisi probabilistica del rischio sismico, deve necessariamente far riferimento ad una valutazione probabilistica del danno, quale la probabilità condizionale di danneggiamento per terremoti di data intensità (BRAGA *et alii*, 1987), ossia:

$$P [D_k | I_j]$$

in cui:

$D_k$  = danno di livello  $k$  all'edificio;

$I_j$  = intensità di livello  $j$  dell'evento sismico;

o, più semplicemente, a funzioni di vulnerabilità  $d(i)$ , che esprimono il valor medio del danno  $d$  in funzione dell'intensità sismica  $i$ .

Numerose sono le ricerche sulla vulnerabilità sismica svolte negli ultimi 20-25 anni, specialmente

in Italia dopo il terremoto dell'Irpinia (1980), che hanno permesso di mettere a punto metodologie diverse, in relazione al tipo di costruzione (edifici in muratura, in c.a., edifici industriali, chiese, ponti, etc.), al livello di accuratezza richiesto e alla disponibilità di dati sperimentali. Numerose sono anche state le indagini di vulnerabilità, nelle quali sono state applicate tali metodologie. L'approccio più spesso adottato, in Italia e all'estero, richiede l'individuazione delle principali tipologie edilizie e la determinazione, per ciascuna tipologia, della distribuzione di probabilità di danno o della funzione di vulnerabilità, attraverso l'analisi statistica dei dati di danneggiamento dei passati terremoti (BRAGA *et alii*, 1982) o attraverso metodi empirici, talvolta basati sul giudizio di esperti (WHITMAN *et alii*, 1973).

La valutazione della vulnerabilità degli edifici dei centri storici di molte città italiane presenta, a causa della loro lunga e complessa storia, peculiarità che rendono problematica l'applicazione delle procedure dette. In particolare gli edifici del centro storico di Roma, con almeno due millenni di vita attiva dell'insediamento residenziale, sono il frutto di molteplici mutazioni, finalizzate a conferire al singolo edificio o alla singola abitazione, in quella situazione urbana, la massima funzionalità rispetto agli scopi ed alle consuetudini abitative. Non sempre tali mutazioni sono state il frutto di progetti

(\*) Servizio Sismico Nazionale.

(\*\*) Università della Basilicata.

(8) La realizzazione del data base cartografico per l'elaborazione dei dati della CLER, nonché le tavole fuori testo allegate al capitolo, sono dovuti a F. BRAMERINI e M. REBUFFAT.

La predisposizione per la stampa degli altri elaborati grafici è dovuta a S. COPPARI.

Il lavoro è in gran parte basato su uno «Studio preliminare della vulnerabilità del centro storico di Roma» realizzato da F. BRAGA, M. DOLCE, P. MARCONI, M. ZAMPILLI per conto del Servizio sismico nazionale. La successiva disponibilità di risultati di analisi di pericolosità condotte parallelamente da F. SABETTA ha consentito agli autori di dare completezza al lavoro con valutazioni sul danneggiamento degli edifici.

organici che tenessero conto dell'organismo edilizio nella sua totalità, anzi il più delle volte sono il frutto di iniziative singole, spesso addirittura cieche nel modificare azzardatamente equilibri e strutture di portata complessiva. Tra codeste mutazioni le più esiziali, sotto il profilo della sicurezza sismica, sono state quelle che hanno sopraelevato gli edifici originari di più piani, spesso giungendo a raddoppi di altezza, e anche più; si tenga conto che tali sopraelevazioni avvenivano con scarsa considerazione per gli attacchi e gli spiccati, e recano con sé scassi verticali cospicui per alloggiare canalizzazioni e pluviali.

Se il patrimonio edilizio del centro storico romano presenta, per le ragioni dette, caratteri di elevata vulnerabilità per molti dei suoi tipi, il territorio di Roma è, d'altra parte, caratterizzato da una bassa pericolosità sismica, e dunque da basse probabilità di arrivo di terremoti pericolosi per le strutture. Si richiede pertanto una metodologia ad hoc di valutazione della vulnerabilità che abbia capacità di risoluzione più elevata di quella che scaturisce dalle procedure statistiche usualmente adottate in Italia (BRAGA *et alii*, 1987). Tale metodologia necessita prioritariamente di un'analisi storica dell'edilizia romana, che ne definisca i caratteri strutturali legati alle modalità di nascita, sviluppo e trasformazione (MARCONI, 1991; SANFILIPPO, 1993) e permetta di individuare le principali tipologie strutturali con riferimento alla risposta sismica.

Per le ragioni sin qui esposte la valutazione della vulnerabilità, intesa come determinazione per le singole tipologie strutturali delle probabilità dei diversi livelli di danneggiamento per terremoti di data intensità (matrici di probabilità di danno), viene svolta con un approccio di tipo esperto-meccanico-probabilistico. La procedura adottata è infatti basata sull'individuazione dei meccanismi di collasso, sulla quantizzazione delle forze che attivano tali meccanismi, sull'assunzione di distribuzioni di probabilità di loro attivazione, sul trattamento probabilistico di tali informazioni. Essa richiede un'attenta calibrazione delle forze sismiche che attivano i meccanismi di collasso, calibrazione necessariamente basata su modelli teorici e su assunzioni «ragionevoli» riguardanti la resistenza e il comportamento dei materiali. I risultati ottenibili avrebbero valore essenzialmente in termini relativi, fornendo una corretta differenziazione della vulnerabilità in relazione alle singole caratteristiche tipologiche. Tuttavia la disponibilità di dati di danno dei passati terremoti ha permesso la calibrazione dei risultati

attraverso il confronto tra le matrici di probabilità di danno che scaturiscono dalla procedura adottata con quelle ricavate dai terremoti del 1980 e 1984, nonché con le indicazioni contenute nella scala MSK circa la danneggiabilità delle diverse classi di vulnerabilità considerate.

La procedura adottata permette di differenziare la vulnerabilità di edifici con peculiarità diverse, che con altri approcci ricadrebbero nell'ambito di una stessa classe di vulnerabilità, di ottenere una valutazione probabilistica del danno prodotto dai diversi livelli di terremoto, rendendo possibile l'analisi probabilistica del rischio sismico, di definire l'intensità sismica in termini di accelerazione, svincolando in tal modo l'analisi del rischio dalle tradizionali definizioni dell'intensità in termini macrosismici (scale MSK, MMI, MCS, etc.). È ovvio che le valutazioni di vulnerabilità di questo tipo risentono della inevitabile approssimazione che la riduzione di edifici «storici» a poche tipologie comporta. Le valutazioni di vulnerabilità e gli studi di rischio che da esse scaturiscono hanno, pertanto, valore solo in termini statistici e non in termini puntuali. La stessa procedura, tuttavia, potrebbe essere adottata anche in una successiva fase di affinamento, nella quale l'attenzione viene rivolta al singolo edificio o al singolo isolato, piuttosto che alle tipologie strutturali. In tale fase l'accertamento delle caratteristiche dei materiali, della geometria e delle connessioni tra le varie parti strutturali, effettuate anche attraverso l'analisi storica, può portare ad una valutazione affidabile della vulnerabilità sismica del singolo oggetto in esame.

## 1. – IL PROCESSO TIPOLOGICO DELL'EDILIZIA DI BASE

### 1.1 – GENERALITÀ

La distinzione che si farà di seguito, tra edilizia pre-ottocentesca ed edilizia tardo-ottocentesca, ha il seguente significato di massima, cui ci si riferisce per una così sommaria separazione: dal 1826, con l'editto del Cardinale Della Somaglia, Roma subisce un progressivo processo di espansione demografica ed edilizia che prepara il ben più netto periodo di espansione successivo all'unificazione del Regno.

La città infatti tende a divenire la capitale moderna dello Stato pontificio, con esigenze di accentrimento e organizzazione della macchina statale

che non avevano precedenti nella gestione pre-moderna dello stato della Chiesa.

Inizia così un cospicuo fenomeno di inurbamento di funzionari e burocrati della nuova macchina statale, e, con esso, il mercato edilizio si muove in modo massiccio. L'editto del 1826 intende mettere ordine in tale nuova tendenza del mercato, regolando l'accorpamento e la sopraelevazione delle case oggetto della nuova febbre edilizia con l'obbligo di rispettare il filo stradale e di contribuire al decoro del «nuovo» edificio. Comincia così il riassetto, tra gli altri, del Corso Umberto e delle vie limitrofe del quartiere di Campo Marzio a partire dalla Piazza del Popolo, appena riassetata col tridente sistino da progetti napoleonici reinterpretati dal Valadier negli anni '20-'27.

La tendenza all'inurbamento viene fortemente incrementata da Pio IX tra il 1846 e il 1870. All'inizio del suo pontificato la città entro le mura Aureliane non supera il 60% della superficie totale; come conseguenza della sua politica, che, tra l'altro, realizza la prima rete di trasporti ferroviari (linee Orte-Foligno-Ancona-Bologna; Roma-Firenze; Roma-Ceprano-Napoli; Roma-Civitavecchia-Grosseto; Roma-Anzio; Roma-Castelli romani) la città raggiunge nel 1870 ben 226.022 abitanti, con un aumento del 50% rispetto ai circa 155.000 del 1840. Questo incremento favorisce l'espansione della città verso Porta del Popolo e Piazza di Spagna, ma anche verso il Quirinale e l'Esquilino. La politica speculativa del Mons. De Merode giunge infine, allo scadere del regno temporale dei Papi, a dare le linee maestre della città post-unitaria; il tracciamento della Via Nazionale ne è l'esempio più cospicuo. Lo stesso De Merode, peraltro, partecipa ad una riunione decisiva, il 19 settembre 1870, tra rappresentanti dell'alta finanza e dell'imprenditoria nazionale, dalla quale dipenderà lo sviluppo edilizio della nuova capitale.

Ecco dunque che, grazie alla preparazione dei pontificati di Pio VII, Leone XII, Gregorio XVI e Pio IX, la città in età umbertina ha già sperimentato un modo di accrescimento su sé stessa, che «esploserà» nei decenni successivi a Porta Pia, consistente in accorpamenti e sopraelevazioni di più edifici limitrofi, con pareggiamento dei solai e concentrazione dei corpi scala. Vengono utilizzate le tecniche aggregative maturate nel corso dei secoli precedenti, a partire dalla metà del '400, quando la città, dopo il ritorno dei papi da Avignone, diviene il centro di un nuovo Stato. Tali tecniche saranno descritte nelle pagine che seguono, ricorrendo ad

una letteratura specialistica molto compatta ed ormai consolidata, risalente agli studi del Muratori e del Caniggia, nonché dei loro continuatori e discepoli.

Le tecniche di accorpamento e di sopraelevazione utilizzate in quegli anni hanno, beninteso, un limite fisiologico, oltre il quale l'edificio tende a divenire particolarmente vulnerabile, non solo rispetto alle azioni sismiche ma anche rispetto ai carichi verticali; tale limite è soprattutto superato quando le sopraelevazioni si fanno eccessive, oltrepassando il doppio dell'altezza dei fabbricati originari.

Nell'edilizia modificata dopo il 1826 fino al 1870 il limite fisiologico spesso coincide col limite morfologico: le nuove aggregazioni hanno l'obbligo di legge di trovare una configurazione architettonica unitaria, e dunque una serie di modulazioni architettoniche in altezza che si concludono con un cornicione di ispirazione (come l'intera impaginazione architettonica) neo-cinquecentesca. L'edilizia di base, che mediamente non supera i tre piani fuori terra (Piano terra-bottega, piano nobile o residenziale, ammezzato sottotetto), giunge allora fino a cinque piani di altezza, e tale altezza può essere ritenuta la massima conseguibile, date le caratteristiche costruttive dei fabbricati. Le sopraelevazioni successive, siano ottocentesche o novecentesche, sono vistosamente eccedenti la impaginazione architettonica, arrampicandosi al di sopra della linea dei cornicioni. Alcune strade romane celeberrime (via Giulia e via Condotti, ad esempio) sono vistosamente alterate nella loro fisionomia architettonica da vere e proprie superfetazioni; superfetazioni non solo a fini estetici ma anche a fini statici, e dunque di vulnerabilità. Si pensi che la maggior parte di esse è stata realizzata nel secondo dopo-guerra, in pieno boom edilizio e di abusivismo, ricorrendo il più delle volte a cantieri occulti ed a pratiche necessariamente sommarie ed irresponsabili. Si pensi inoltre che, trattandosi spesso di appartamenti di lusso, gli impianti sanitari e di aerazione o riscaldamento sono assai impegnativi, interessando necessariamente l'intera altezza dei fabbricati, con scassi a volte imponenti, per non parlare degli impianti di risalita e della loro nocività, se realizzati «irresponsabilmente».

La classificazione tipologica dell'edilizia di base all'interno delle mura aureliane, oggetto dei seguenti paragrafi, fa riferimento ai criteri metodologici messi a punto dagli studi della scuola muratoriana, ed in particolare da P. Vaccaro e G. Caniggia (MURATORI *et alii*, 1963; BOLLATI *et alii*, 1963; VACCA-

RO, 1968; CANIGGIA & MAFFEI 1979; VACCARO & AMERI, 1983; CANIGGIA & MAFFEI, 1984), che si fondano sulla ricostruzione logica del processo formativo dell'edilizia storica a partire dalla prima edificazione fino all'assetto odierno. Per la definizione delle categorie edilizie enunciate sono state di utile confronto ricerche e studi sul tessuto antico affrontati anche con altra ottica (v. SPAGNESI, 1979; BENEDETTI, 1983; GUARDI *et alii*, 1974; AA.VV., 1974) ed in particolare l'«*Indagine conoscitiva sul centro storico di Roma*» condotta dalla cooperativa C.L.E.R. per il Comune di Roma (C.L.E.R., 1986). I numeri tra parentesi, che individuano i tipi edilizi ordinati nell'abaco (fig. 40), fanno anche riferimento, pure se in taluni casi sono state utilizzate definizioni diverse, alle schede dei dati strutturali desunte dalla classificazione C.L.E.R. Le descrizioni che seguono vanno, comunque, considerate con beneficio d'inventario nell'analisi del singolo edificio, e necessitano in ogni caso di seri approfondimenti di rilievo, pur risultando di grande aiuto sulla strada di una certa tipizzazione delle caratteristiche di vulnerabilità.

## 1.2 - L'EDILIZIA PRE-OTTOCENTESCA

### 1.2.1. - *Gli antecedenti della casa a schiera*

L'eredità del mondo romano è la «domus», abitazione monofamiliare di uno o al massimo due piani, che si sviluppa intorno ad un cortile. La suddivisione delle confinazioni originarie dei tessuti di «domus» attuata nei secoli successivi attraverso i noti fenomeni di tabernizzazione e insulizzazione (per la terminologia adottata si rimanda ai testi di G. Caniggia citati in bibliografia) porta alla diffusione di tipi edilizi più contenuti.

L'antecedente della casa a schiera, del quale rimane memoria nella documentazione d'archivio relativa a rilievi di edifici dei secoli XVII e XVIII e nei reperti di epoca medievali occultati dalle trasformazioni posteriori, è la casa a corte-schiera (figg. 41-42) che ha origine dal frazionamento della «domus», della quale conserva la funzione distributiva del cortile. La corte-schiera ha dimensioni di facciata che si avvicinano al passo cellulare con-

solidato intorno ai 6 m ed ha un portico anteriore per l'esposizione all'aperto della mercanzia<sup>(9)</sup>. Negli esempi più arcaici la distribuzione verticale avviene attraverso l'area scoperta retrostante, successivamente si afferma il vano scala in aderenza al percorso con il piano terreno che funge da grande atrio-bottega.

Un altro tipo edilizio che precede la casa a schiera e ne anticipa le caratteristiche di aggregabilità in serie in aderenza ad un percorso, è la casa monocellulare a due o tre piani (Tipo A0 - tav. 1) (fig. 43). Nell'intervallo temporale che passa tra questa casa dalle dimensioni cellulari e quella che poi definiremo casa a schiera «matura» che si consolida nelle dimensioni bicellulari della pianta, è riconoscibile un'evoluzione nell'occupazione dell'area di pertinenza retrostante al fabbricato con corpi aggiunti di struttura parzialmente muraria e non completamente tamponati, i cosiddetti «mignani», che hanno una funzione distributiva ed accessoria delle attività che si svolgono all'aperto.

TAV. 1 - A0 Casa monocellulare

TIPO ORIGINARIO (*)	
PERIODO	medio evo
TRASFORMAZIONI - PIANTE	nessuna
TRASFORMAZIONI - ELEVAZIONE	nessuna
DIMENSIONI - FRONTE	5-6 m
DIMENSIONI - PROFONDITÀ	5,5-6,5 m
DIMENSIONI - ALTEZZA	2-2 piani f.t.
FONDAZIONI	continue a sacco
STRUT. VERTICALE - MATERIALI	muratura mattoni, muratura in tufo
STRUT. VERTICALE - SPESSORE	perim. 60 cm, spina 50 cm, ambito 50 cm
STRUT. ORIZZONT. - MATERIALI	solai in legno a travi e travetti e pianellato
STRUT. ORIZZONT. - TESSITURE	tessitura secondo la collocazione della scala
COPERTURE	a due falde
SCALE - MATERIALI, STRUTTURA	legno
SCALE - DISPOSIZIONE	parallele al fronte, rampe sovrapposte
SCHEMA - DISTRIBUTIVO	p. terra per bottega, piani superiori alloggio
PROSPETTO - P. TERRA	2 aperture: una piccola, l'altra grande
PROSPETTO - P. SUPERIORI	2 luci di modeste dimensioni divaricate in prossimità dei muri di spina

(\*) Questo tipo è stato inserito per completezza rispetto al processo evolutivo dell'edilizia romana, sebbene assente nella classificazione C.L.E.R. probabilmente per il numero estremamente ridotto di casi.

(9) Vedi il saggio di restituzione della casa in via dei Coronari 157 (fine sec. XIV o inizio XV) dell'Associazione artistica fra i cultori di architettura. In: «ROMACENTRO» n. 2 pag. 28.

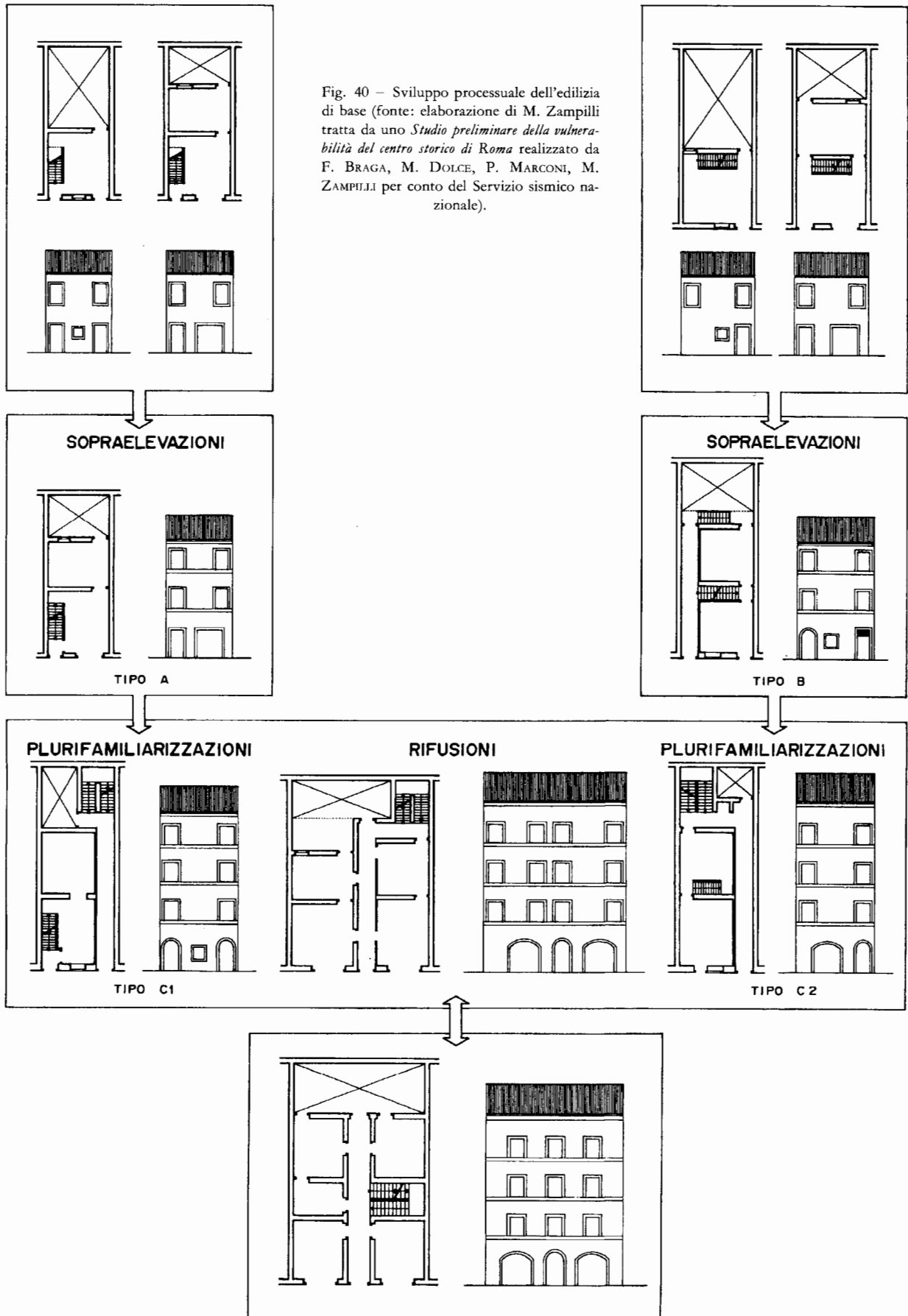


Fig. 40 - Sviluppo processuale dell'edilizia di base (fonte: elaborazione di M. Zampilli tratta da uno *Studio preliminare della vulnerabilità del centro storico di Roma* realizzato da F. BRAGA, M. DOLCE, P. MARCONI, M. ZAMPIILLI per conto del Servizio sismico nazionale).

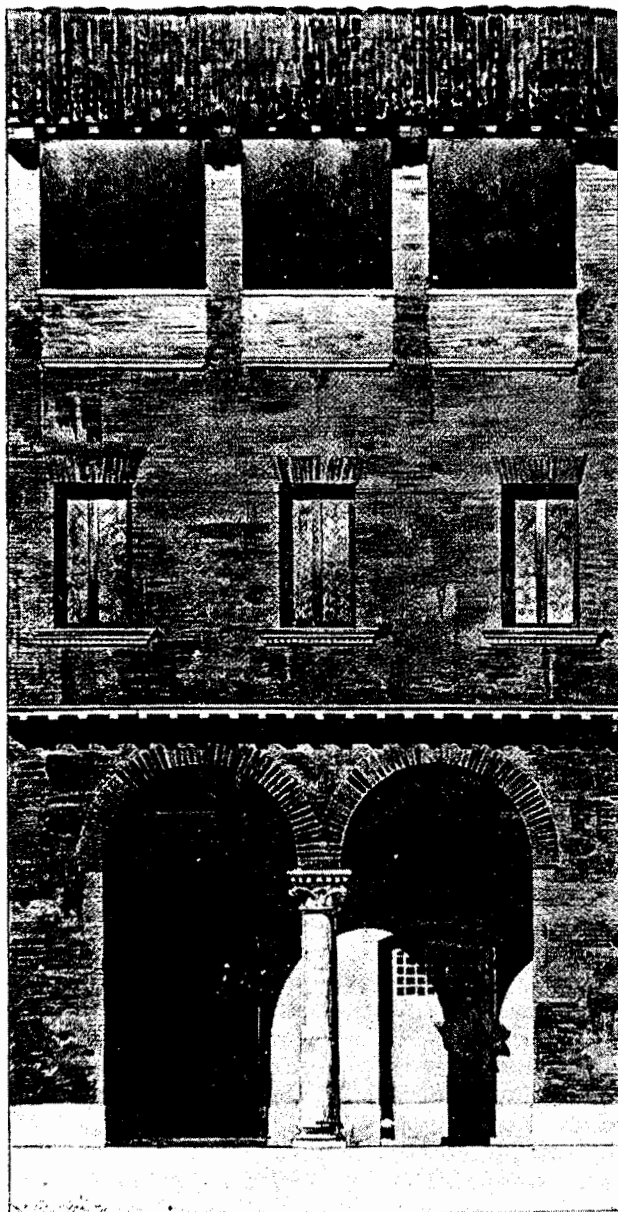


Fig. 41 - Casa a corte schiera in via dei Coronari 157: saggio di ricostruzione di una casa della fine del sec. XIV o inizio sec. XV a cura dell'Associazione artistica tra cultori di architettura (fonte: *Romacentro* n. 2, 1986).

### 1.2.2 - La casa a schiera «matura»

La casa a schiera matura (Tipo A1 - tav. 2) (fig. 44) è il tipo edilizio protagonista dello sviluppo urbano dei secoli XV e XVI. La versione romana, più tarda di uno-due secoli rispetto alla casa a schiera che ha strutturato le città dell'Italia centro-settentrionale, non si discosta di molto dalle caratteristiche peculiari del tipo, se non per una

più dilatata dimensione del fronte ed una maggiore omogeneità strutturale delle murature perimetrali<sup>(10)</sup>.

Il lotto di terreno ha forma rettangolare molto allungata e si sviluppa ortogonalmente al fronte strada sul quale si attesta con il lato minore largo circa 6 m. Il lato maggiore ha dimensione variabile tra i 18 e i 25 m. L'edificio è costituito da due cellule strutturali tendenti a un quadrato di lato compreso tra i 4,50 e 6,00 m, per cui l'area edificabile viene occupata per una profondità di circa 12 m. I muri di spina sono in comune con i fabbricati confinanti. Per tale ragione, ogni cellula, tranne quelle d'angolo, ha una sola parete d'affaccio: la cellula principale affaccia su strada, quella retrostante affaccia sull'area di pertinenza.

L'edificio si sviluppa per 3 piani per un'altezza massima di 10-11 m fuori terra; può avere anche un piano cantinato in tutto, o parzialmente interrato. Il piano terreno è destinato alla

TAV. 2 - A1 Casa a schiera matura

TIPO ORIGINARIO	
PERIODO	XV - XVI
TRASFORMAZIONI - PIANTA	nessuna
TRASFORMAZIONI - ELEVAZIONE	nessuna
DIMENSIONI - FRONTE	5-6 m
DIMENSIONI - PROFONDITÀ	12-13 m
DIMENSIONI - ALTEZZA	3 piani f.t. più piano cantinato
FONDAZIONI	continue a sacco
STRUT. VERTICALE - MATERIALI	muratura mattoni, muratura in tufo
STRUT. VERTICALE - SPESSORE	perim. 60 cm, spina 50 cm, ambito 50 cm
STRUT. ORIZZONT. - MATERIALI	solai in legno a travi e travetti e pianellato
STRUT. ORIZZONT. - TESSITURE	tessitura secondo la collocazione della scala
COPERTURE	a due falde
SCALE - MATERIALI, STRUTTURA	legno
SCALE - DISPOSIZIONE	parallele o perpendicolari al fronte, rampe sovrapposte
SCHEMA - DISTRIBUTIVO	p. terra per bottega, piani superiori alloggio
PROSPETTO - P. TERRA	2 aperture: una piccola, l'altra grande
PROSPETTO - P. SUPERIORI	2 finestre divaricate in prossimità dei muri di spina gerarchizzate tra primo e secondo piano

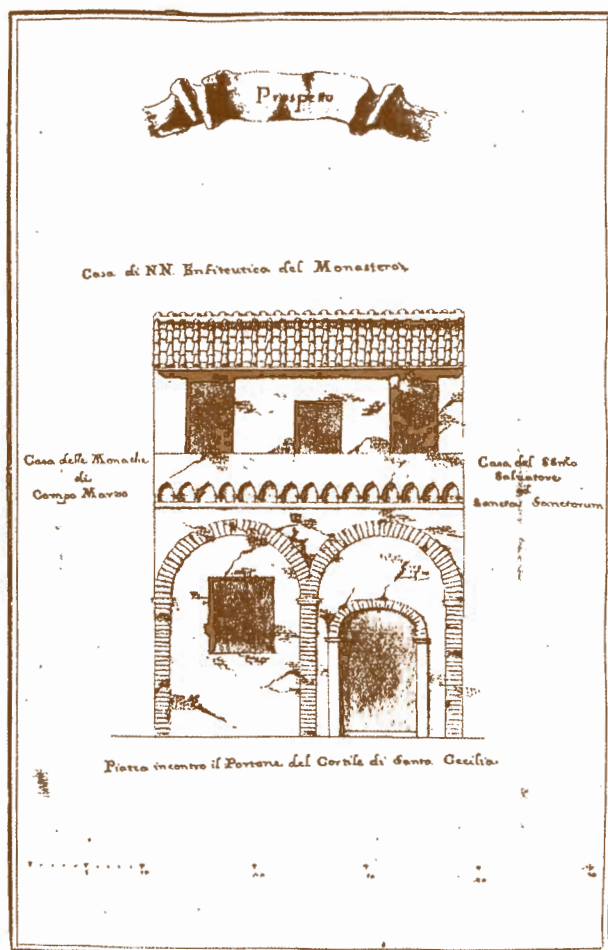
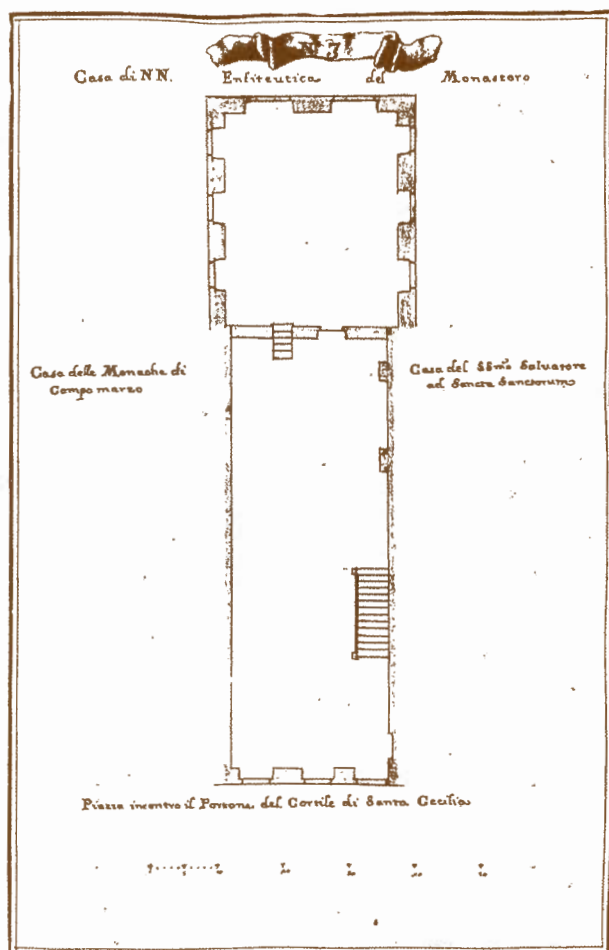
<sup>(10)</sup> Accurati rilievi di edifici di base pre-ottocenteschi, compresi i dettagli delle tecniche costruttive sono contenuti in G. GABBI, M. GENTILESCHI, 1992, in MARCONI, 1989 e in QUILICI, CAPPABIANCA, CORAGGIO, 1991.

produzione o al commercio; i piani superiori costituiscono la residenza della famiglia distinta tra zona giorno al primo piano, più alto, e zona notte al livello sovrastante, che è più propriamente un sottotetto. Nelle versioni più arcaiche il meccanismo di distribuzione verticale è posto su un fianco della prima cellula, ortogonalmente al percorso. Tale posizione, ereditata dai tipi antecedenti, favorisce la penetrazione dalla strada verso l'area di pertinenza, ma riduce l'uso delle finestre poste in corrispondenza della scala. Successivamente, si supera questo inconveniente, collocando la scala nel muro d'ambito tra la prima e la seconda cellula (fig. 45). Ciò permette di avere grandi ambienti illuminati da due finestre, oppure ambienti più piccoli, ciascuno con la propria fonte aeroilluminante, ottenuti con tramezzature di mattoni ad una testa.

La scala è generalmente realizzata in muratura, «di materia» come riferiscono i capitoli sei-settecenteschi, con gradini in peperino, ma si conoscono esempi con struttura in legno (fig. 46).

Nell'elevazione delle murature perimetrali la norma vuole che i muri siano realizzati come segue: le pareti di spina, in comune tra due proprietari, che non contengono alcuna apertura, sono generalmente realizzate in pietrame di tufo mentre la parete di facciata, che necessita di elementi componenti più regolari e di dimensioni minori per la presenza dei vuoti delle porte e delle finestre, è costituita da una muratura di mattoni pieni che può essere a tutto spessore oppure solo di cortina, con cavità interne riempite con materiale incoerente. I muri rastremano, salendo verso l'alto, di una testa di mattone ogni due piani, a partire dal piano terreno, e in corrispondenza del davanzale sempre segnato da una fascia. Al piano interrato il muro ha uno spessore generalmente variabile tra i 60 e gli 80 cm, al piano terreno e al primo piano tra i 60 e i 55 cm, e tra i 40 e i 45 cm al secondo.

In prospetto al piano terreno si collocano la porta di bottega, ampia e spesso arcuata a sesto ribassato al centro della cellula, e la porta di casa, molto più



III

Fig. 42 – Casa a corte schiera riprodotta in un libro delle case del sec. XVIII (fonte: Catasto del Monastero di S. Cecilia in Trastevere (1735) pubblicato in A. MARINO, *I «Libri delle case» di Roma*, Roma, 1985 pag. 25).

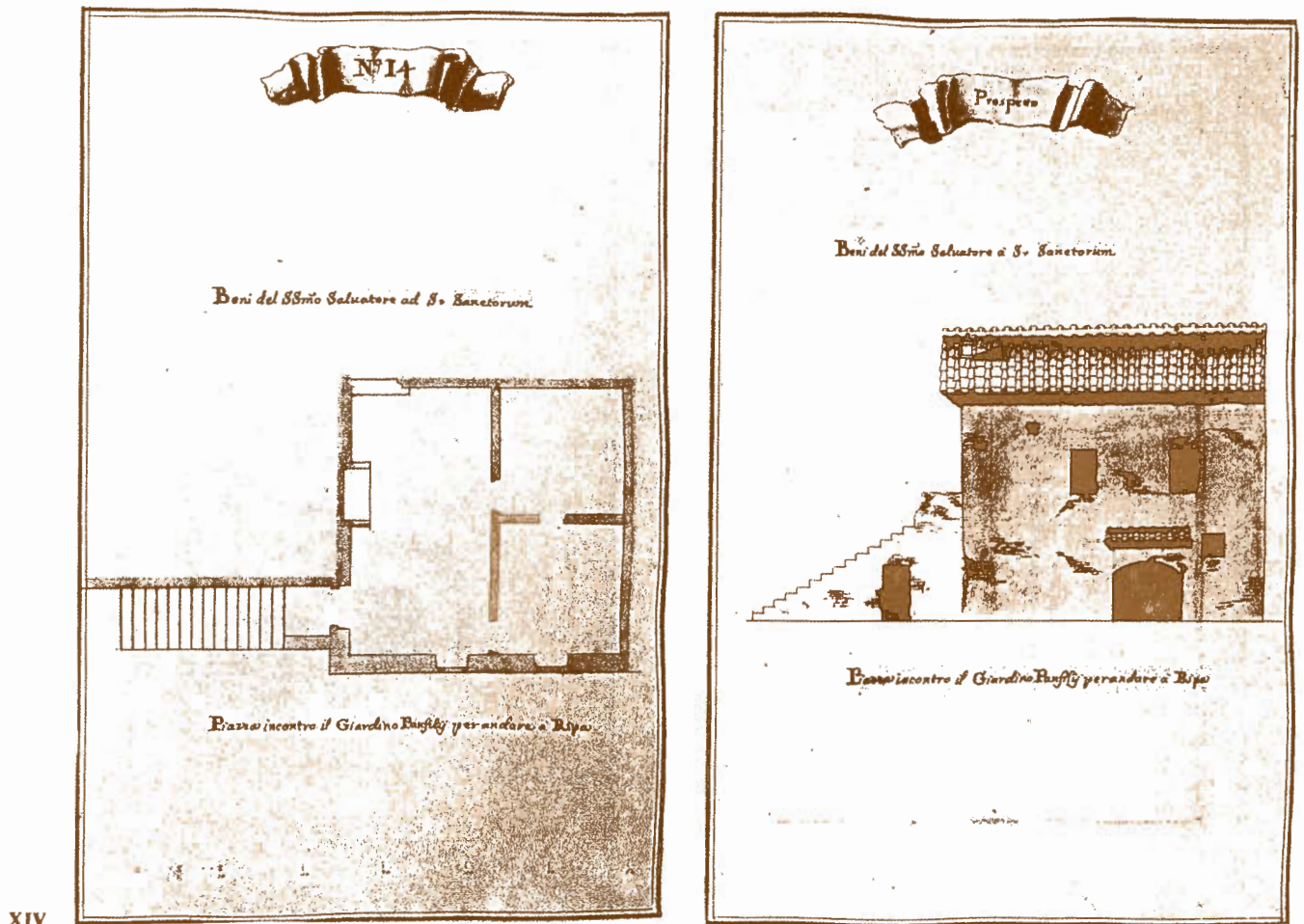
stretta, addossata ad uno dei muri di spina, in corrispondenza dell'andito o della scala. Ai piani superiori le finestre sono collocate in prossimità dei muri di spina, in posizione molto divaricata rispetto al centro della cellula. La gerarchia tra il primo piano e il secondo è marcata dalla maggiore altezza di interpiano e, di conseguenza, delle finestre. Tutte le aperture sono incorniciate da mostre in rilievo di stucco oppure, ma più raramente, di pietra.

Le strutture di orizzontamento sono costituite da solai lignei e volte. Le volte sono generalmente a botte, a sesto ribassato in mattoni o in concrezione, e sono rilevabili sempre nei piani cantinati, talvolta nei piani terreni, negli androni e nei corridoi (fig. 47).

I solai hanno di norma la struttura bi-direzionata: l'orditura principale è costituita da una o due travi maestre tessute parallelamente al fronte d'affaccio, l'orditura secondaria di travicelli poggia sui muri di facciata e d'ambito (figg. 48-49).

La tipologia delle coperture può variare, sia in rapporto alla posizione dell'organismo edilizio rispetto al tessuto urbano che alle dimensioni delle cellule. Così si potranno avere tetti con travi principali parallele al fronte d'affaccio (il caso più comune), tetti con travi principali ortogonali al fronte, e tetti d'angolo con struttura principale costituita da paradossi (o colmarecci) con travi rompitratta diagonali; struttura secondaria costituita da arcarecci e da correnti. Sopra i correnti poggiano il pianellato ed il manto in coppi ed embrici detto appunto «alla romana» (figg. 50-51).

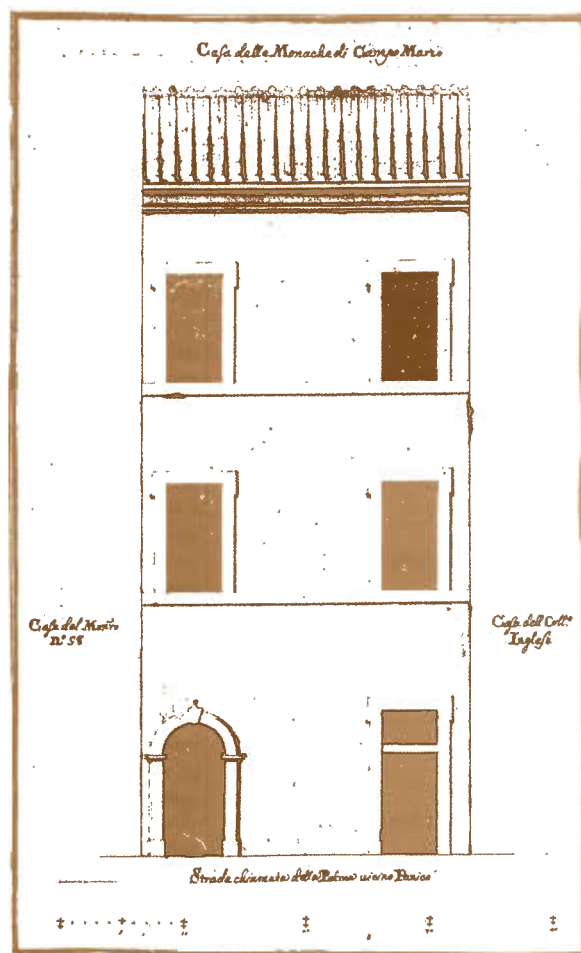
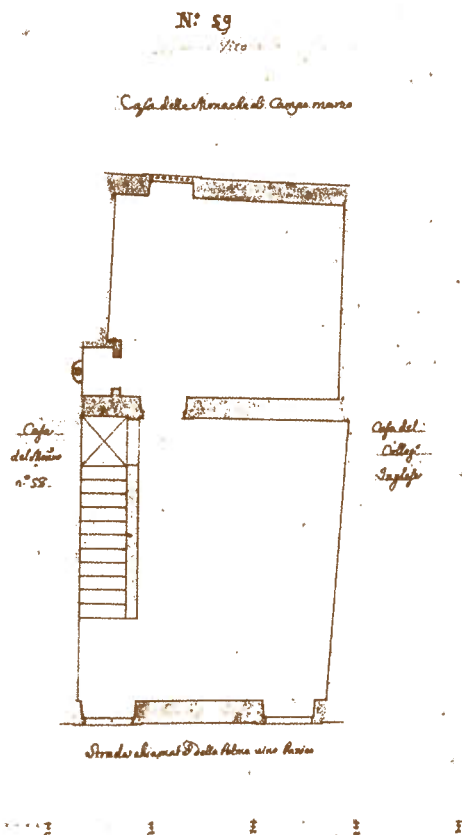
Quello fino ad ora descritto è il tipo portante cioè quella casa che si concretizza in condizioni ottimali nell'ambito di un tessuto congruo perchè coevo. In moltissimi casi i tipi edilizi vengono condizionati da una particolare posizione nel tessuto, dalla necessità di trasformare edifici preesistenti, dai vincoli delle preesistenze.



XIV

Fig. 43 – Casa monocellulare a due piani nella versione arcaica con scala esterna (fonte: A: Catasto del Monastero di S. Cecilia in Trastevere, cit. pag. 36. B: Catasto dell'Ospedale di S. Spirito (XVII sec.) pubblicato in: R. FREGNA, S. POLITO, *Fonti di archivio per una storia edilizia di Roma. I libri delle case dal '500 al '700: forma e esperienza della città*, in: *Controspazio* n. 9/1971 pag. 11).





LVII  
(LIX)

Fig. 44 – Casa a schiera matura con scala ortogonale al percorso (fonte: Catasto del Monastero di S. Cecilia in Trastevere, cit., pag. 61).

Vengono chiamati varianti sincroniche quei tipi edilizi che sono costretti ad inverarsi in condizioni anomale o di particolare disagio. Si può distinguere una casistica di varianti sincroniche: quelle di posizione (tipi d'angolo o d'intasamento), di trasformazione (derivate dal riuso e ristrutturazione di tipi precedenti), di sostituzione (su lotti di edifici precedentemente demoliti), dimensionali (lotto più largo o più stretto).

Le varianti sincroniche più significative della casa a schiera romana sono quelle d'angolo (fig. 52), dove i due lati liberi su strada consentono di avere l'accesso alla scala dal fronte secondario, e quelle di intasamento che devono accettare dimensioni ridotte pur contenendo tutti gli ingredienti del tipo portante.

### 1.2.3 Gli sviluppi successivi alla casa a schiera

Completata la fase di formazione dei tessuti di case a schiera, avvenuta tra il XV e il XVI secolo, nei secoli successivi la città cresce su se stessa senza eventi traumatici, fino alle grandi espansioni e ristrutturazioni post-unitarie. Lo sviluppo del processo tipologico si concretizza nella sopraelevazione, nell'accorpamento e nella sostituzione di edifici preesistenti. I tipi edilizi derivati, dei quali una vasta casistica è documentata sia dai «Libri delle case»<sup>(11)</sup> sia dai progetti conservati nell'Archivio Capitolino al Titolo 54<sup>(12)</sup> sono essenzialmente quattro: la casa a schiera plurifamiliarizzata, la casa a schiera plurifamiliare di sostituzione, la casa in linea di rifusione, la casa in linea di rifusione con riordino del prospetto.

(11) Presso archivi diversi sono depositati i cosiddetti Libri delle case: catasti delle proprietà degli enti religiosi rilevati tra il XVI e il XVIII secolo (S. Giacomo degli incurabili, S. Silvestro in Capite, SS. Annunziata, S. Spirito, Ospizio della Trinità, ecc.), in parte pubblicati in: FREGNA, POLITO, 1971, FREGNA, POLITO, 1972, BILANCIA, POLITO, 1973; MARINO, 1985, CRISTALLINI, NOCCIOLI, 1987, AA.VV., 1987.

(12) Archivio Storico Capitolino Titolo 54: progetti di trasformazione di edifici presentati tra il 1848 e il 1886. In buona parte pubblicati in: G. SPAGNESI 1974.

TAV. 3 - A11 Casa a schiera

TIPO TRASFORMATO	
PERIODO	XV-XVI → XVII, XVIII
TRASFORMAZIONI - PIANTA	aggiunta vano scala nel cortile
TRASFORMAZIONI - ELEVAZIONE	sopraelevazione - 2 piani
DIMENSIONI - FRONTE	5-6 m
DIMENSIONI - PROFONDITÀ	12-13 m più vano scala
DIMENSIONI - ALTEZZA	3-5 piani più p. cantinato
FONDAZIONI	continue a sacco - non riadeguate alle trasf.
STRUT. VERTICALE - MATERIALI	muratura mattoni, muratura in tufo
STRUT. VERTICALE - SPESSORE	perim. 60 cm, spina 50 cm, ambito 50 cm
STRUT. ORIZZONT. - MATERIALI	<i>inf.</i> : solai in legno a travi e travetti e pianellato <i>sopraelevazioni</i> : solai in legno
STRUT. ORIZZONT. - TESSITURE	tessitura secondo la collocazione della scala
COPERTURE	a tetto a due falde
SCALE - MATERIALI, STRUTTURA	<i>originaria</i> : in legno <i>aggiunta</i> : volta a botte, crociera ai pianerottoli
SCALE - DISPOSIZIONE	<i>originaria</i> : parallele o perpendicolari al fronte, rampe sovrapposte <i>aggiunta</i> : parallele al fronte
SCHEMA - DISTRIBUTIVO	alloggi funzionanti al singolo piano
PROSPETTO - P. TERRA	2 aperture: una piccola, l'altra grande
PROSPETTO - P. SUPERIORI	<i>inf.</i> : 2 finestre divaricate in prossimità dei muri di spina gerarchizzate tra primo e secondo piano <i>sopraelevazioni</i> : allineamento con l'originario

Un primo scatto tipologico, che vede l'edilizia di base crescere mediamente di due piani, è rappresentato da quella che viene chiamata casa a schiera plurifamiliarizzata (Tipo A11 - tav. 3; A12 - tav. 4) (fig. 53). Essa consiste in un edificio che, grazie alla sopraelevazione di uno o due piani, contenente ciascuno un appartamento, non ha più una destinazione unifamiliare, ma è capace di ospitare due o tre famiglie. Agli ultimi livelli si arriva, di norma, da una scala a doppia rampa, realizzata nell'area di pertinenza la quale non interferisce con il vano scala preesistente che continua a risultare autonomo nel servire l'abitazione originaria, immutata nella sua distribuzione.

La casa a schiera plurifamiliare (fig. 54), intesa nell'accezione più completa di tipo edilizio di sostituzione, è stata poco utilizzata in ambito romano. Al contrario, sono molto frequenti esempi di ristrutturazione di edifici preesistenti nei limiti del

lotto originario con l'intento di ottenere un alloggio di taglio bicellulare per ciascun piano. Anche in questo caso la scala è collocata nel cortile retrostante, ma consolida la sua funzione servendo tutti i piani. Si tende anche a mutare l'assetto architettonico ereditato eliminando la gerarchia tra i piani sovrapposti ed accentuando il basamento.

TAV. 4 - A12 Casa a schiera (\*)

TIPO TRASFORMATO OTTOCENTESCO	
PERIODO	XV - XVI → XVII, XVIII, XIX, XX
TRASFORMAZIONI - PIANTA	sviluppo disorganico, aumento notevole del volume
TRASFORMAZIONI - ELEVAZIONE	ristrutturazione elementi distributivi
DIMENSIONI - FRONTE	più 2-4 piani, corpi precari sulla copertura
DIMENSIONI - PROFONDITÀ	5-6 m
DIMENSIONI - ALTEZZA	12-13 più corpi aggiunti (fino 13-17 m)
FONDAZIONI	4-7 piani più p. cantinato continue a sacco - invariate oppure rinforzate
STRUT. VERTICALE - MATERIALI	muratura mattoni, muratura in tufo
STRUT. VERTICALE - SPESSORE	<i>inf.</i> perim. 60 cm, spina 50 cm, ambito 50 cm <i>sopraelevazioni</i> : 40 cm, possibile arretramento ultimo piano
STRUT. ORIZZONT. - MATERIALI	<i>inf.</i> : solai in legno a travi e travetti e pianellato, possibili modificazioni <i>sopraelevazioni</i> : solai in legno o in ferro
STRUT. ORIZZONT. - TESSITURE	tessitura secondo la collocazione della scala
COPERTURE	a tetto o a terrazza, possibile presenza corpi precari
SCALE - MATERIALI, STRUTTURA	corpo scala aggiunto o trasformato, con struttura a volta rampante <i>aggiunta</i> : volta a botte, crociera ai pianerottoli
SCALE - DISPOSIZIONE	in vano proprio nel cortile o nella seconda cellula parallela al fronte
SCHEMA - DISTRIBUTIVO	più alloggi al piano a seconda dei corpi aggiunti
PROSPETTO - P. TERRA	2 aperture: una piccola, l'altra grande
PROSPETTO - P. SUPERIORI	<i>inf.</i> : 2 finestre divaricate in prossimità dei muri di spina gerarchizzate tra primo e secondo piano <i>sopraelevazioni</i> : allineamento con l'originario

(\*) A13 - CASA IN LINEA DELL'800 - Tipo ottocentesco.

Le caratteristiche sono simili a quelle della tipologia B11. Per l'epoca del tipo è opportuno assimilare questa tipologia alla tipologia B11, Tav. 7.

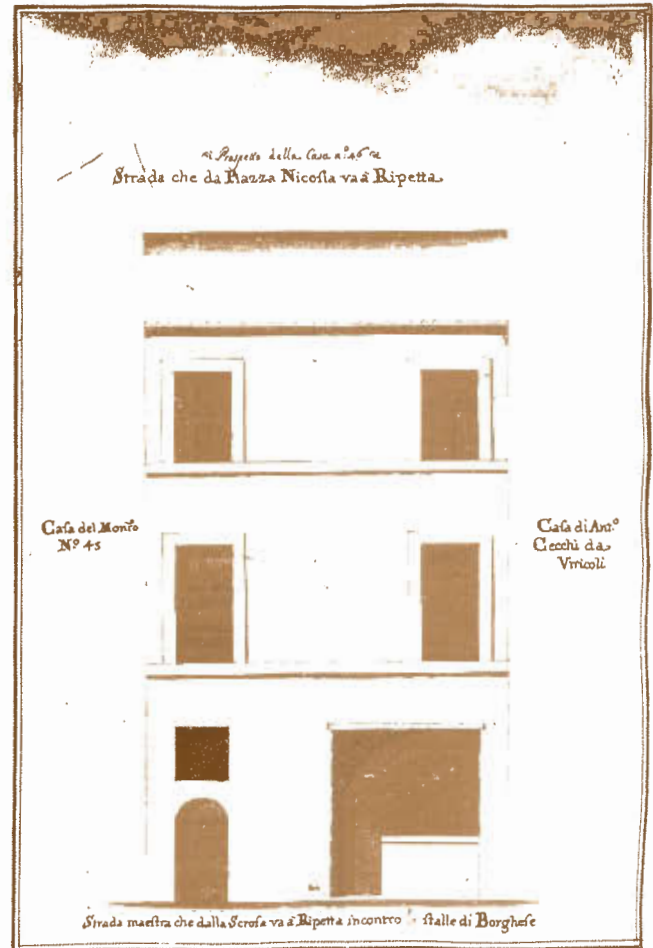
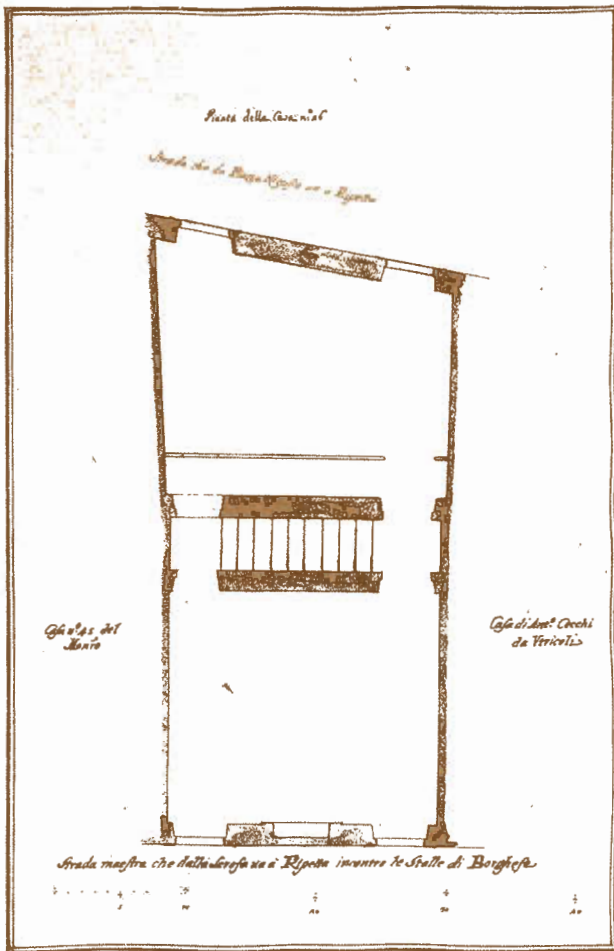


Fig. 45 - Casa a schiera matura con scala parallela al percorso (fonte: Catasto del Monastero di S. Cecilia in Trastevere, cit. pag. 58).

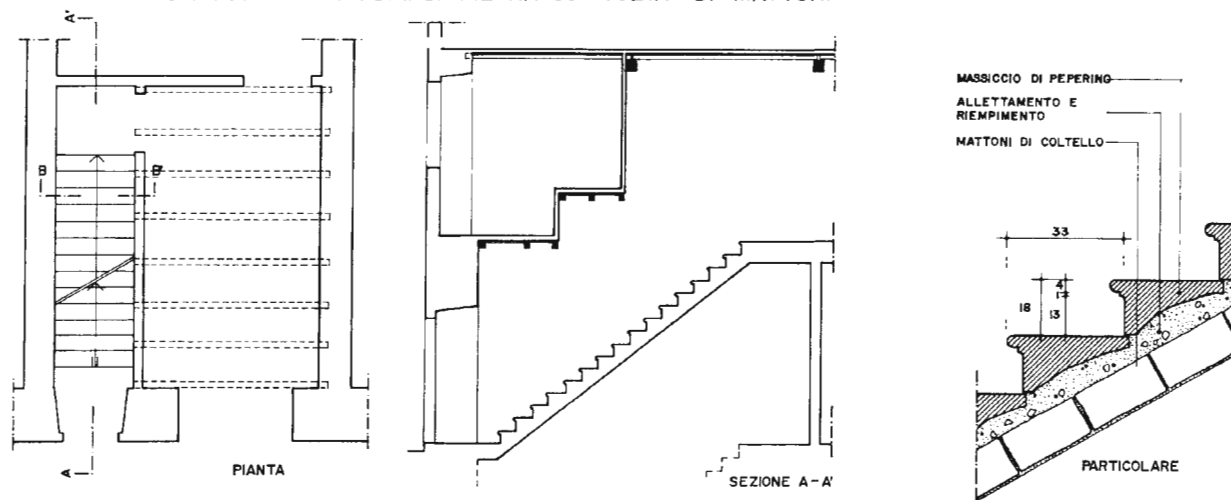
Con l'accorpamento di due o più case a schiera contigue inizia la storia della casa in linea (Tipo A14 - tav. 5) (fig. 55). La plurifamiliarizzazione della casa a schiera, ormai consolidata con l'avvento della scala a doppia rampa in vano proprio, ha come automatica conseguenza la possibilità di servire, con un solo meccanismo distributore, due alloggi complanari.

In realtà la rifusione di unità edilizie seriali sta già conducendo, nel corso del Seicento e del Settecento, ad una edilizia nobiliare e borghese (Tipo A22 - tav. 6) (fig. 56) di elevato pregio che mutua i contenuti formali di facciata dal palazzo cinquecentesco: la parete ritmica ad interassi costanti, l'asse di simmetria, la gerarchia tra i piani. Ma questo fenomeno, pur consistente, è senz'altro minoritario rispetto al capillare processo di accorpamento e trasformazione dell'edilizia di base monofamiliare che porta a fabbricati di case d'affitto destinate ad una utenza popolare. Semmai è interessante constatare come nel corso dell'Ottocento si consolidino gli stilemi e gli ingredienti dell'edilizia speciale (pur con l'impiego di materiali e tecniche più povere) nel

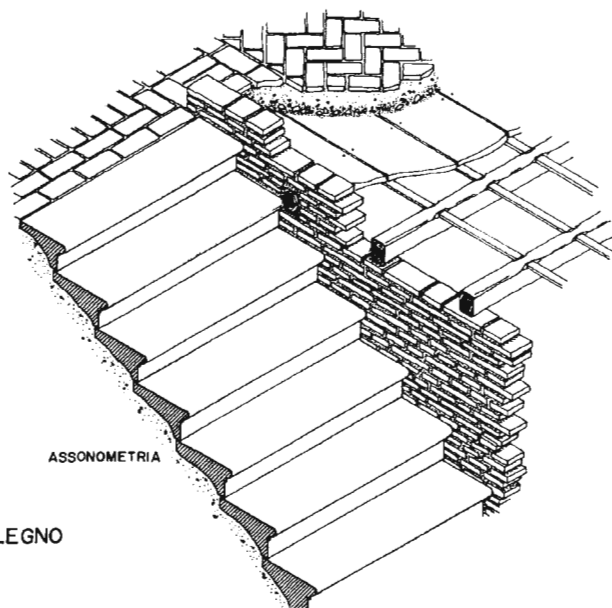
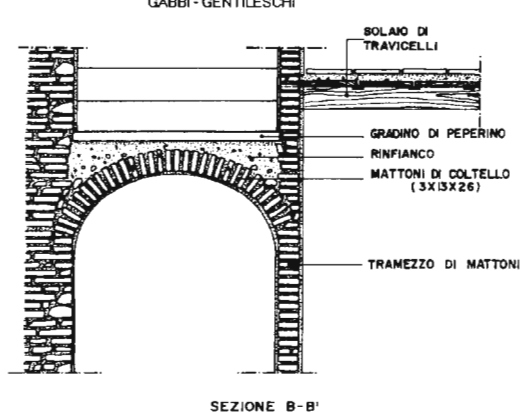
riordino dei prospetti di qualsiasi edificio di base. La rifusione di due o più unità porta a edifici a tre, cinque o sette interassi con portale d'ingresso al centro di un basamento trattato a finto bugnato ove il piano nobile predomina formalmente sui piani sovrapposti gerarchicamente, pure se di pari altezza (Tipo B11- tav. 7, Tipo B12 - tav. 8, Tipo B13 - tav. 9) (figg. 57 e 58).

Tutto ciò comporta una sostanziale perdita di leggibilità dell'assetto precedente, leggibilità che, al contrario, viene conservata dalle fusioni spontanee e più arcaiche le quali, nell'ottica di ottenere il massimo rendimento con il minimo sforzo, mutano il solo sistema distributivo. Eliminate le scale individuali ormai inutili, la nuova scala condominiale si colloca in posizione laterale se l'accorpamento interessa solo due elementi seriali, oppure al centro della nuova unità edilizia se gli elementi interessati sono più di due. L'edificazione tende ad occupare i lotti ed i cortili di pertinenza fino a trasformarli in semplici chiostrine di aeroilluminazione.

## A. SCALA CON GRADINI DI PIETRA SU VOLTA DI MATTONI



GABBI - GENTILESCHI



## B. SCALA CON GRADINI E COSCIALE DI LEGNO

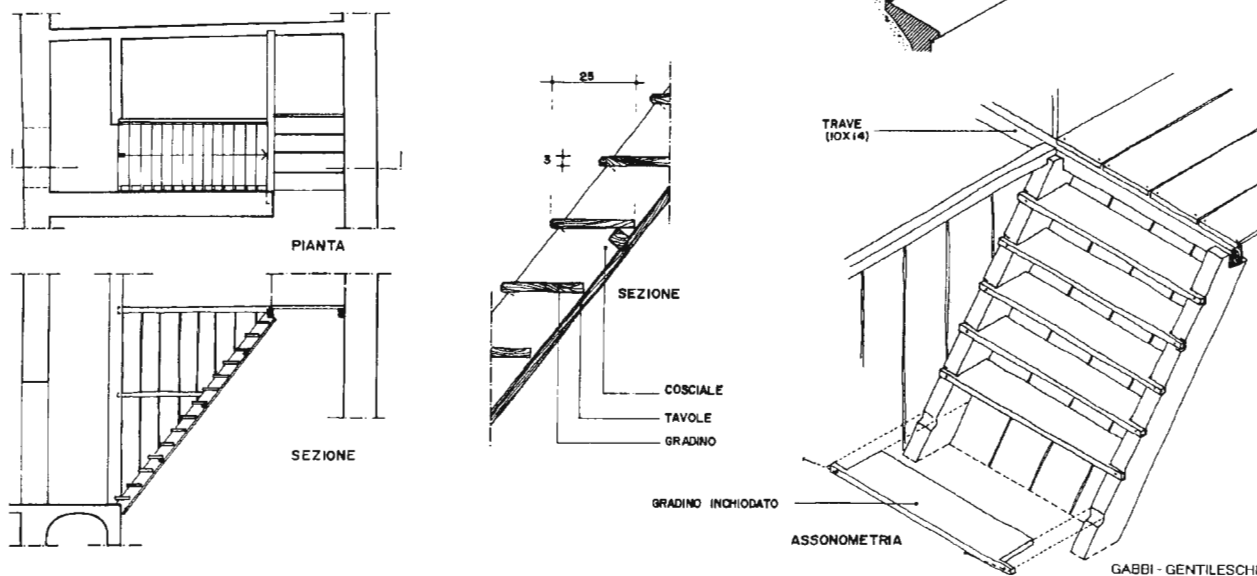
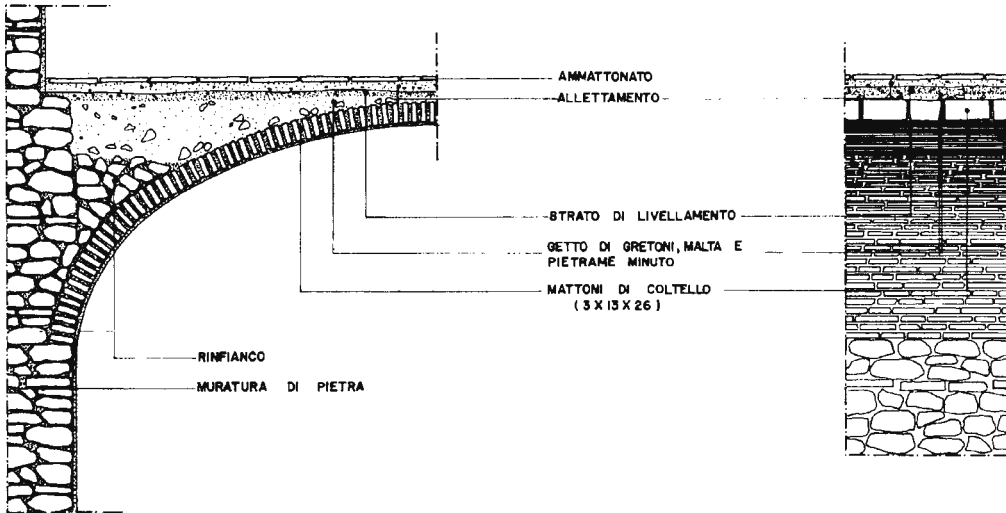
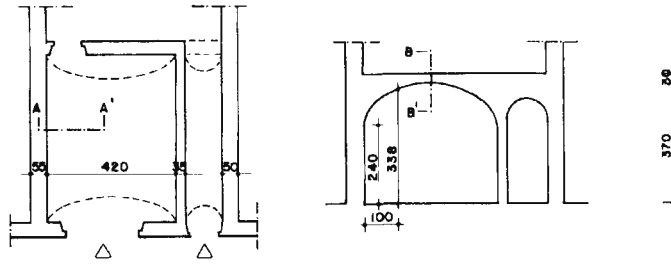


Fig. 46 A) Scala con gradini in pietra su volta di mattoni; B) Scala con gradini a cosciale di legno (fonte: Tesi di laurea di G. GABBI, M. GENTILESCHI, *Le tecniche costruttive dell'edilizia residenziale a Roma tra '600 e '700: interventi di conservazione delle strutture*, Facoltà di Architettura di Roma «La Sapienza», a.a. 91/92, relatore prof. A. Giuffrè, correlatori: arch. F. Giovanetti, M. Zampilli, tav. 35).

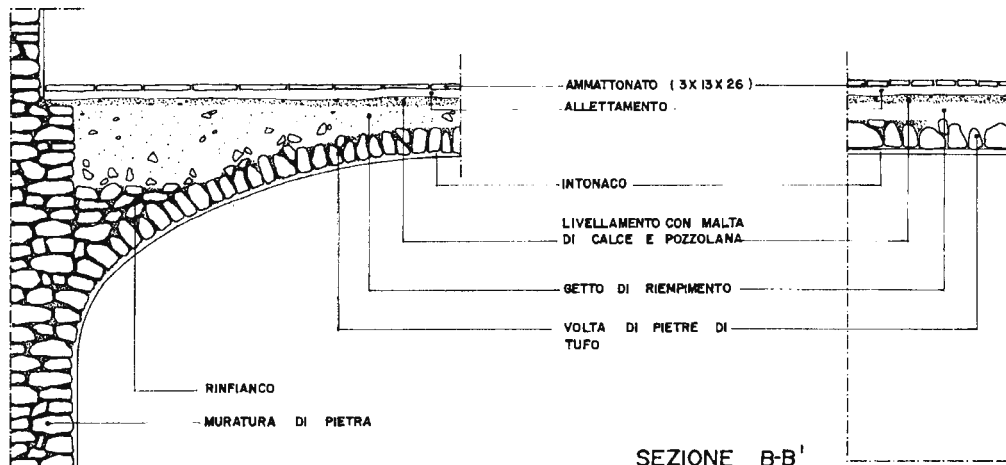
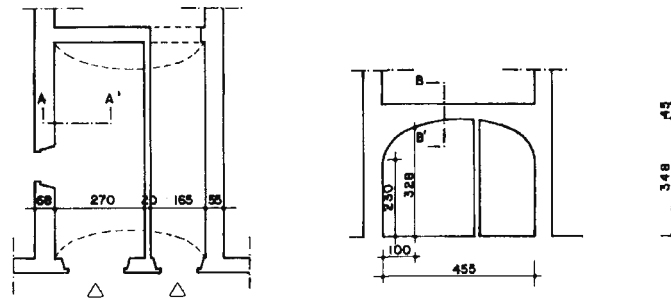
**VOLTA A BOTTE  
DI MATTONI**  
( VIA MARIO DE' FIORI 34 )  
PIANO TERRA



SEZIONE A-A'

SEZIONE B-B'

**VOLTA A BOTTE  
IN CONCREZIONE**  
( L.GO CORRADO RICCI 39 )  
PIANO TERRA  
VOLTA REALIZZATA SOPRA LA TERRA



SEZIONE A-A'

SEZIONE B-B'

Fig. 47 - A) Volta a botte di mattoni; B) Volta in concrezione. (fonte: Tesi di laurea di G. GABBI, M. GENTILESCHI, cit., tav. 34).

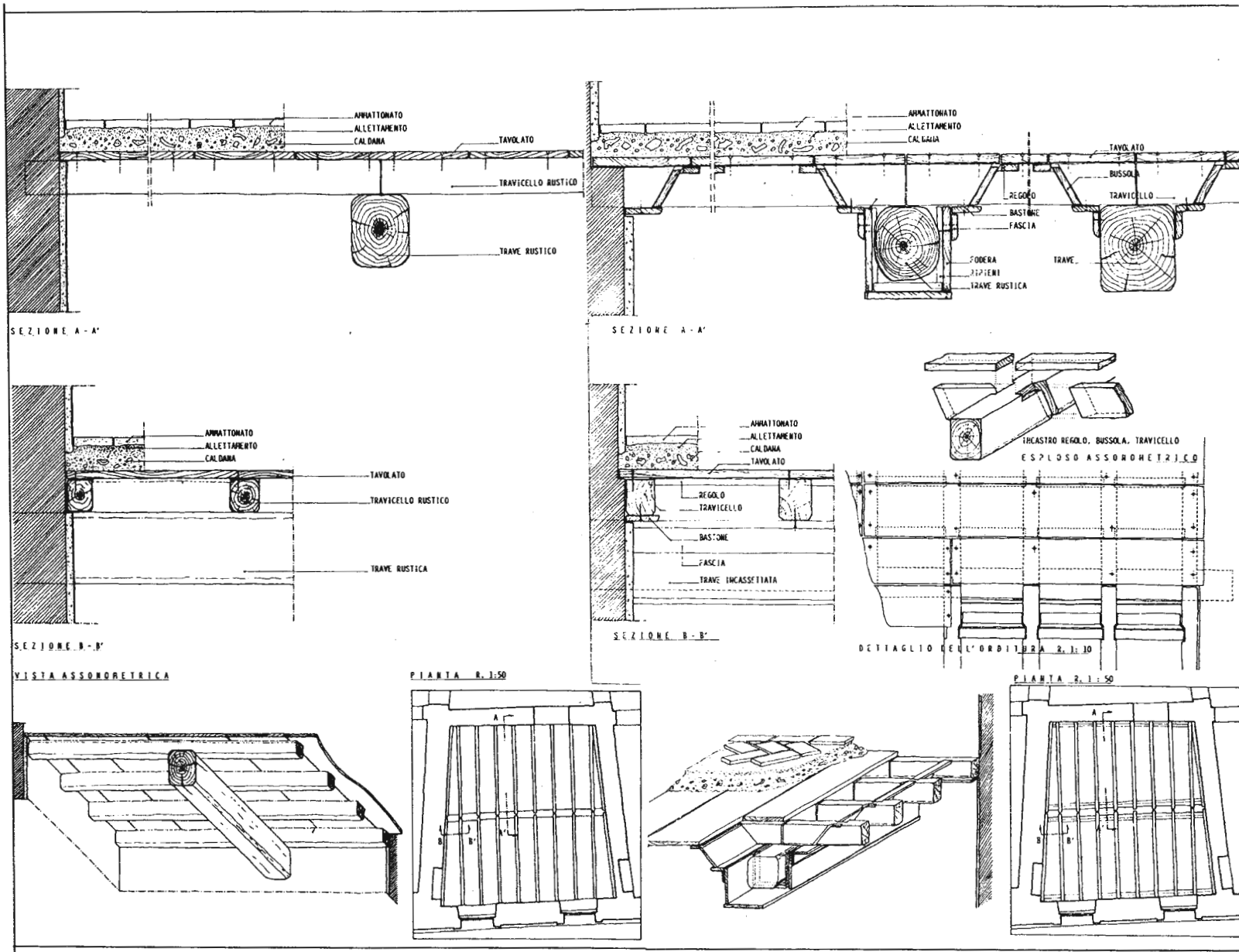


Fig. 48 – Un solaio rustico ed un solaio a regolo per convento con un trave e maestro (fonte: V. QUILICI, A. CAPPABIANCA, C. CORAGGIO, *Tor di Nona - Storia di un recupero*, Bari 1991, pag. 118).

SOLAIO A REGOLO PER CONVENTO CON TRAVI MAESTRE

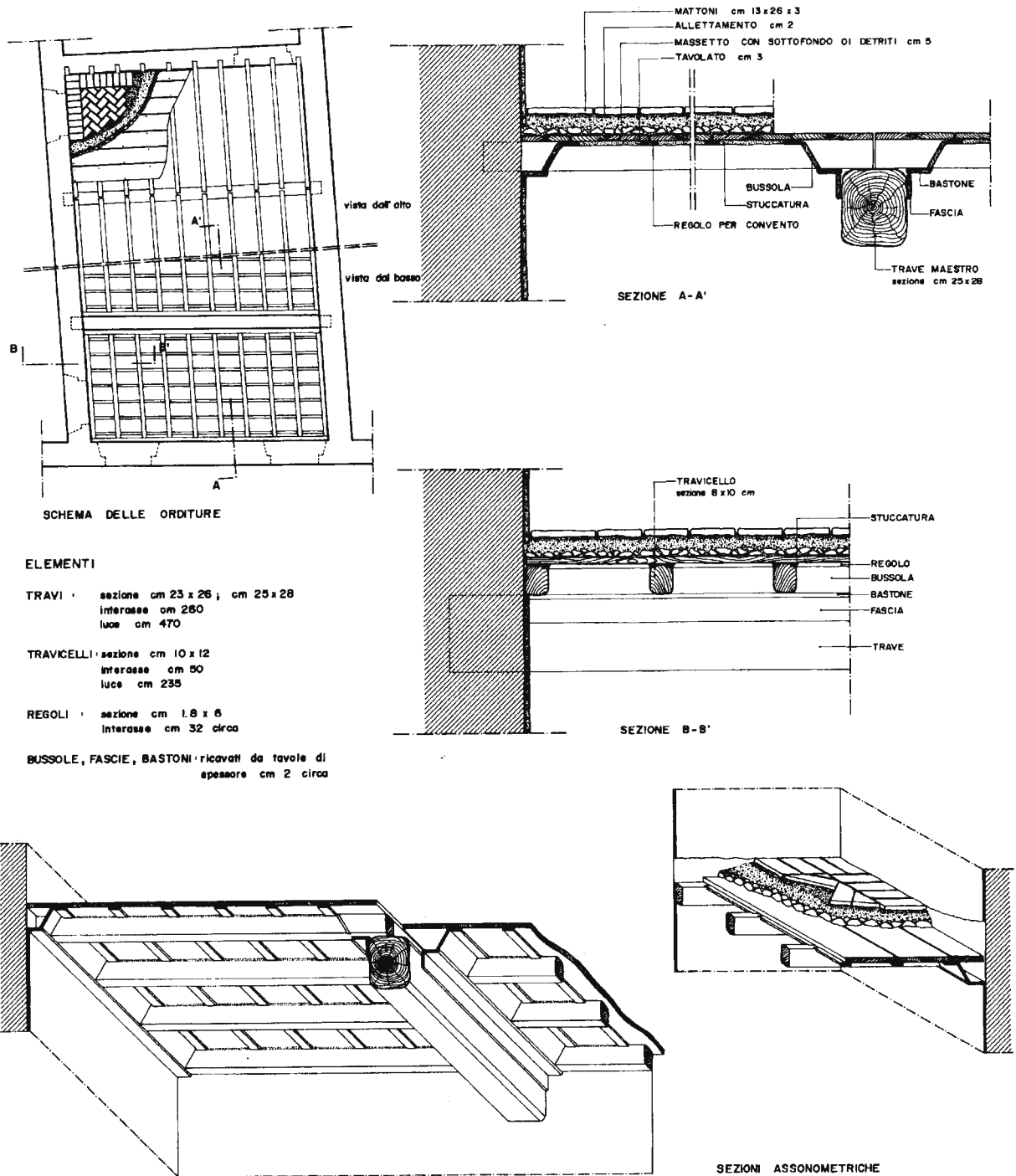


Fig. 49 Solaio a regolo per convento con due travi maestre (fonte: Tesi di laurea di G. GABBI, M. GENTILESCI, cit., tav. 39).

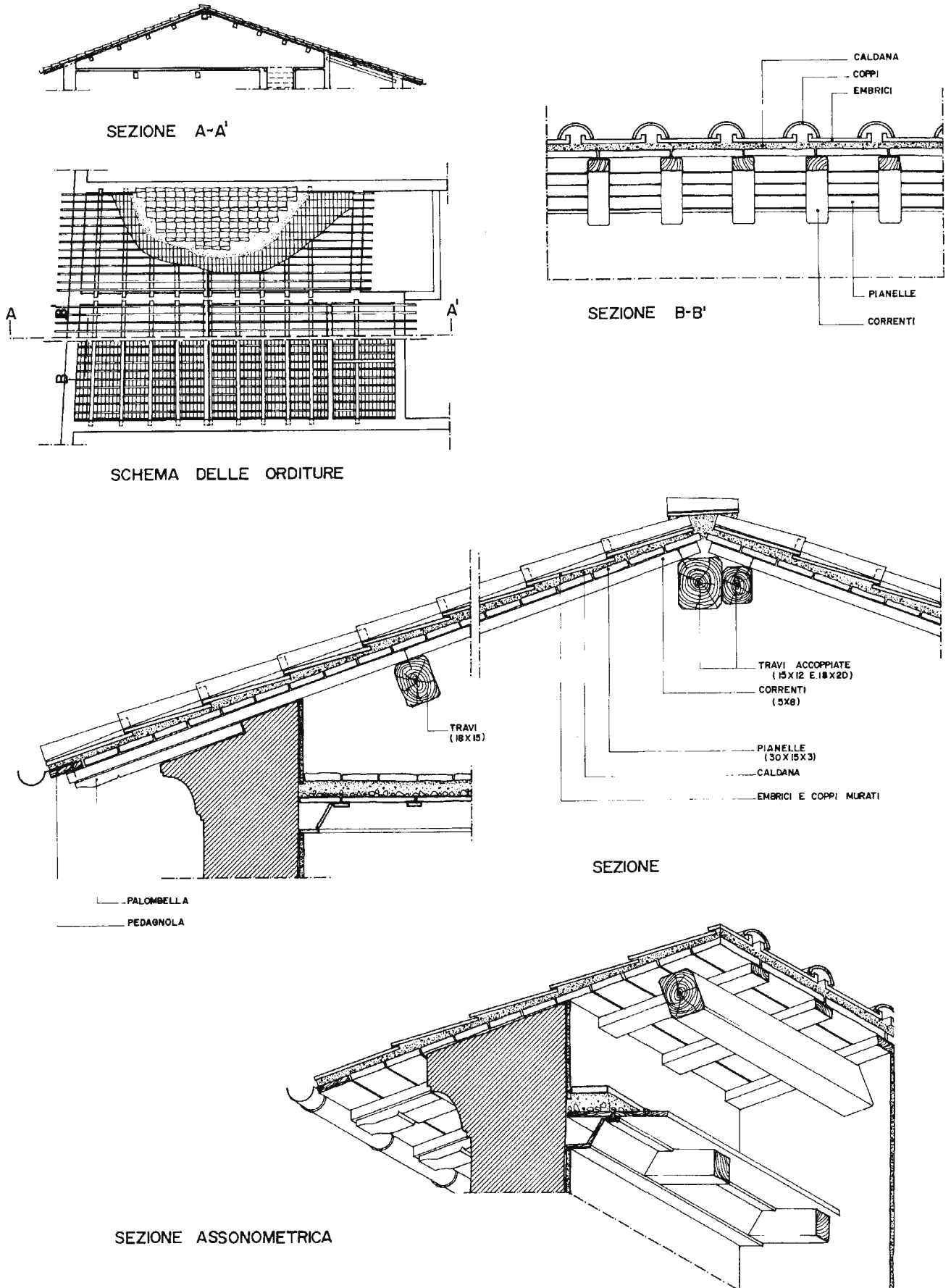


Fig. 50 Tetto con struttura parallela al fronte (fonte: Tesi di laurea di G. GABBI, M. GENTILESCI, cit., tav. 41).



TAV. 5 - A14 Casa in linea del '600 - '700

TIPO EDILIZIO CASA IN LINEA E TRASFORMAZIONI SUCCESSIVE	
PERIODO	XVII-XVIII sec.
TRASFORMAZIONI - PIANTA	riprogettazione unitaria con possibile accorpamento di unità seriale
TRASFORMAZIONI - ELEVAZIONE	spesso soluzione d'angolo eventuali sopraelevazioni ottocentesche e riempiimenti del lotto
DIMENSIONI - FRONTE	10-24 m
DIMENSIONI - PROFONDITÀ	10-13 più
DIMENSIONI - ALTEZZA	5-5 piani + p. cantinato
FONDAZIONI	continue a sacco
STRUT. VERTICALE - MATERIALI	muratura mattoni, muratura in tufo
STRUT. VERTICALE - SPESSORE	<i>inf.</i> perim. 60 cm, spina 50 cm, ambito 50 cm
STRUT. ORIZZONT. - MATERIALI	volte al piano terra, solai in legno a travi e travetti a regolo per convento e pianellato
STRUT. ORIZZONT. - TESSITURE COPERTURE	parallela al fronte generalmente a tetto, possibile presenza corpi precari
SCALE - MATERIALI, STRUTTURA	scala a doppia rampa volta a botte, crociera ai pianerottoli
SCALE - DISPOSIZIONE	parallele o perpendicolare al fronte nella seconda cellula
SCHEMA - DISTRIBUTIVO	p. terra per bottega, 2-4 alloggi per piano
PROSPETTO - P. TERRA	porta d'ingresso, portoni di maggiori dimensioni per le botteghe
PROSPETTO - P. SUPERIORI	2 finestre per cellula divaricate in prossimità dei muri di spina, eventuali finestre vere o finte al centro della cellula

TAV. 6 - A22 Casa signorile o borghese

TIPO EDILIZIO CASA SIGNORILE O BORGHESE	
PERIODO	XVI-XVIII sec.
TRASFORMAZIONI - PIANTA	riprogettazione unitaria con possibile accorpamento di unità seriali;
TRASFORMAZIONI - ELEVAZIONE	spesso soluzione d'angolo eventuali sopraelevazioni ottocentesche e riempiimenti del lotto
DIMENSIONI - FRONTE	10-24 m
DIMENSIONI - PROFONDITÀ	10-13 più
DIMENSIONI - ALTEZZA	5-5 piani + p. cantinato
FONDAZIONI	continue a sacco
STRUT. VERTICALE - MATERIALI	muratura mattoni, muratura in tufo
STRUT. VERTICALE - SPESSORE	<i>inf.</i> perim. 60 cm, spina 50 cm, ambito 50 cm
STRUT. ORIZZONT. - MATERIALI	volte a botte e a padiglione al piano terreno, solai in legno a travi e travetti a regolo per convento e cassettoni e pianellato
STRUT. ORIZZONT. - TESSITURE COPERTURE	parallela al fronte generalmente a tetto, possibile presenza corpi precari
SCALE - MATERIALI, STRUTTURA	scala a doppia rampa volta a botte, crociera ai pianerottoli
SCALE - DISPOSIZIONE	parallele o perpendicolari al fronte nella seconda cellula
SCHEMA - DISTRIBUTIVO	p. terra per bottega, 1 alloggi per piano
PROSPETTO - P. TERRA	basamento bugnato con portale assiale, portoni laterali per le botteghe ed eventuali finestre del mezzanino
PROSPETTO - P. SUPERIORI	finestre assiali alle aperture sottostanti con gerarchizzazione tra piano nobile e piani superiori

Le modifiche di facciata interessano il piano terreno e gli ultimi piani che, crescendo fino a 5 ed anche 6 elevazioni, realizzano un sistema di finestre relativamente autonomo. Nel basamento tutte le aperture vengono uniformate alle preesistenti porte di bottega, tranne il portale d'ingresso, posto indifferentemente in asse o su un fianco, dal quale si arriva alla scala attraversando un ampio andito voltato, spesso passante e carrabile.

### 1.3 - L'EDILIZIA TARDO-OTTOCENTESCA

Con il trasferimento a Roma della capitale d'Italia, una intensa attività edilizia interessa l'intera città. Nell'arco di pochi decenni si assiste all'apertura di grandi percorsi di ristrutturazione del tessuto antico (via Nazionale, Corso Vittorio) ed alla pro-

duzione di nuovi quartieri (Esquilino, Castro Pretorio, Celio, poi Prati, Testaccio, ecc.). Questa intensa attività edilizia è, purtroppo, talvolta caratterizzata da una esecuzione affrettata e di cattiva qualità, anche in relazione alla improvvisazione dei magisteri e delle imprese. Accade spesso, allora, che a fronte di un aspetto imponente (per numero di piani, altezze interpiano, presenza di portici, dimensioni in pianta) degli edifici di questa epoca si riscontrino delle gravi carenze strutturali legate sia alla qualità della progettazione che dell'esecuzione (DELLE CHIAIE & LULLI, 1991). Tali carenze si sono manifestate nel passato in lesioni e crolli, di cui il

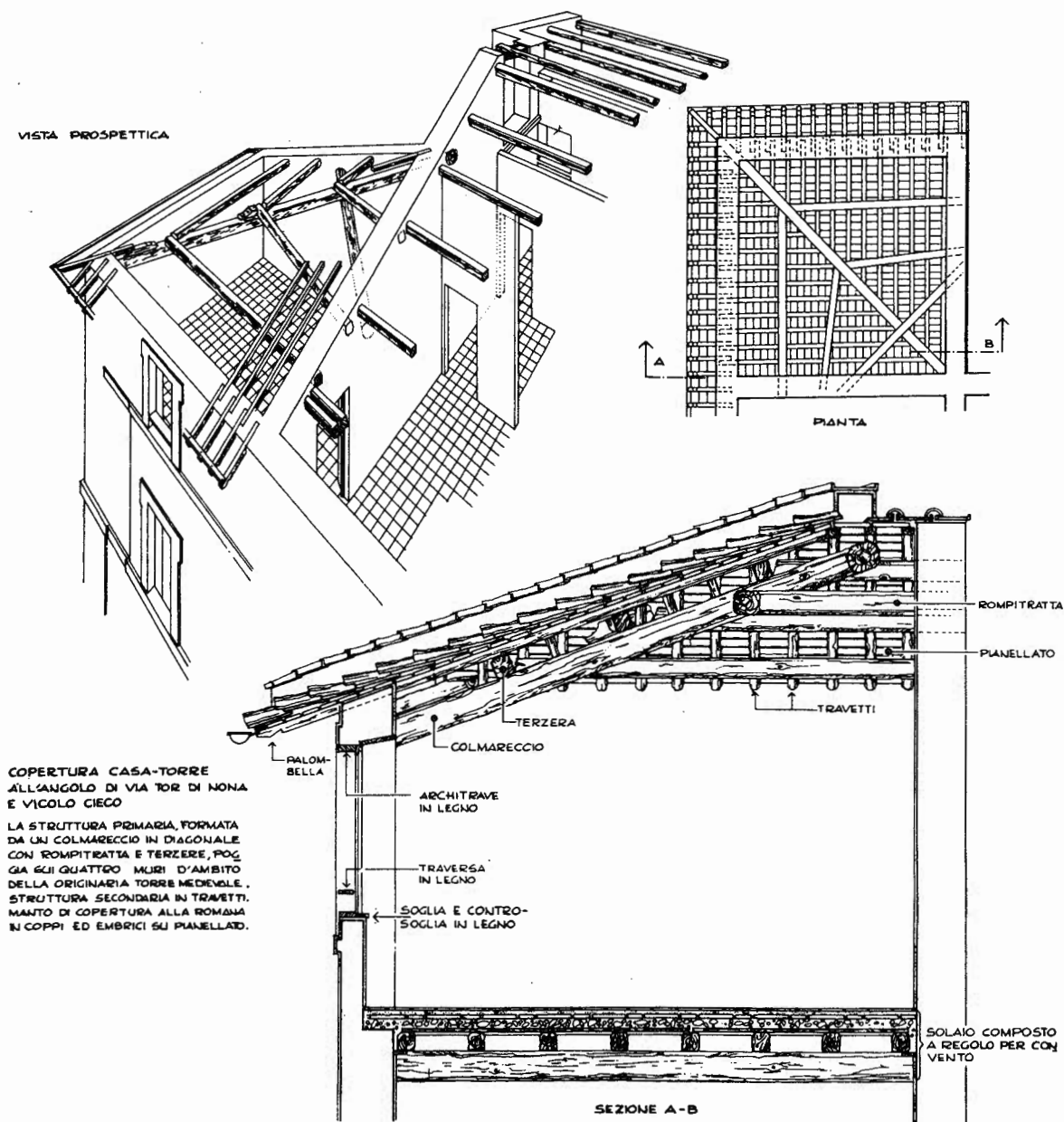


Fig. 51 - Tetto d'angolo con struttura principale in diagonale (paradosso) (fonte: V. QUILICI, A. CAPPABIANCA, C. CORAGGIO, cit., pag. 103).

più clamoroso, quello di parte dell'isolato XIII di Piazza Vittorio del 6 Agosto 1885, rese necessaria l'istituzione dell'Albo degli Architetti e degli Ingegneri operanti nella città, con Ordinanza del 23 marzo 1886.

L'edificio a blocco post-unitario è una casa in linea di dimensioni dilatate che può avere carattere di elevata rappresentatività, disponendosi su assi urbani importanti (Tipo B31 - tav. 10) (fig. 59). Nell'impianto planimetrico e nell'impaginazione dei prospetti vengono in questo caso recuperate le qualità peculiari dei palazzi nobiliari: un ampio androne passante, in

asse ad un cortile architettonicamente definito, serve una o due scale che distribuiscono da due a quattro appartamenti per piano. Sul prospetto è molto evidenziata, con l'uso di bugnati, timpani, etc., la gerarchia tra il basamento con mezzanino, il piano nobile, anch'esso con mezzanino, il piano attico. La parete, modulata ritmicamente, ha sempre un numero dispari di interassi (minimo cinque o sette).

Nelle zone meno nodali gli edifici, pur conservando nei prospetti gli ingredienti tipici dell'edilizia ottocentesca, hanno una maggiore serialità sia in pianta sia in alzato (Tipo B32 - tav. 11) (fig. 60).

TAV. 7 - B11 Casa in linea di trasformazione '800

CASA IN LINEA DA TRASFORMAZIONE DI TIPI SERIALI	
PERIODO	XV, XVI, XVII sec. → XIX
TRASFORMAZIONI - PIANTA	accorpamento tra 2-4 unità, A <sub>11</sub> , A <sub>12</sub> contigue sul fronte, eventuale accorpamento in profondità anche con unità edilizie nuove
TRASFORMAZIONI - ELEVAZIONE	più 1-4 piani, corpi precari sulla copertura
DIMENSIONI - FRONTE	varie (8-16 m - dipendenti dai tipi accorpati
DIMENSIONI - PROFONDITÀ	varie - dipendenti dai tipi accorpati
DIMENSIONI - ALTEZZA FONDAZIONI	4-8 piani più p. cantinato continue a sacco - non riadeguate alle trasf., nuove fondazioni senza cantina in profondità
STRUT. VERTICALE - MATERIALI	muratura mattoni, muratura in tufo - presenza di aperture nei muri di spina, possibile eliminazione dei muri d'ambito
STRUT. VERTICALE - SPESSORE	<i>originari</i> . perim. 60 cm, spina 50 cm, ambito 50 cm
STRUT. ORIZZONT. - MATERIALI	<i>inf.</i> : volte o solai in legno a travi e travetti e pianellato <i>sopraelevazioni</i> : solai in legno o in ferro
STRUT. ORIZZONT. - TESSITURE	<i>accorpamento</i> : possibili quote diverse
COPERTURE	tessitura secondo la collocazione della scala a tetto o a terrazza, possibile presenza corpi precari
SCALE - MATERIALI, STRUTTURA	<i>inf.</i> : volta a botte, crociera ai pianerottoli <i>sopraelevazioni</i> : voltine alla romana oppure corpo scala aggiunto o trasformato, con struttura a volta rampante
SCALE - DISPOSIZIONE	<i>corpo originario</i> : parallele o perpendicolari al fronte, rampe sovrapposte; rampe secondarie aggiunte di raccordo tra le unità accorpate
SCHEMA - DISTRIBUTIVO	alloggi funzionanti al singolo piano
PROSPETTO - P. TERRA	2 aperture: una piccola, l'altra grande per ogni unità originaria; possibile modifiche dimensionali
PROSPETTO - P. SUPERIORI	<i>inf.</i> : 2 finestre divaricate in prossimità dei muri di spina gerarchizzate tra primo e secondo piano <i>sopraelevazioni</i> : allineamento con l'originario

La parete ha molto spesso un ritmo di interessi pari, la posizione dell'ingresso obbedisce più alle necessità distributive interne che non all'assialità della facciata, l'apparente gerarchia orizzontale è smentita dall'altezza costante di tutti i piani.

Nell'Esquilino, quartiere significativo della Roma capitale, i tipi edilizi più comuni sono due: il primo è un edificio d'angolo che, in presenza di isolati stretti, può interessare un intero fronte, l'altro è una casa in linea d'intasamento<sup>(13)</sup> (fig. 61).

TAV. 8 - B12 Casa in linea di edificazione '800

CASA IN LINEA DI NUOVA COSTRUZIONE O DI ACCORPAMENTO E RISTRUTTURAZIONE TOTALE OTTOCENTESCA	
PERIODO	XIX sec.
TRASFORMAZIONI - PIANTA	accorpamento e ristrutturazione totale ottocentesca di 2 unità seriali oppure nuova edificazione su due lotti, corpi a carattere precario aggettanti
TRASFORMAZIONI - ELEVAZIONE	PIU 1-2 piani, corpi precari sulla copertura
DIMENSIONI - FRONTE	10 - 12 m
DIMENSIONI - PROFONDITÀ	15 - 20 m
DIMENSIONI - ALTEZZA	3-7 piani più p. cantinato anteriormente
FONDAZIONI	continue
STRUT. VERTICALE - MATERIALI	muratura in pietrame con ricorsi in mattoni oppure in mattoni; arretramento all'ultimo piano, o agli ultimi piani in caso di sopraelevazioni
STRUT. VERTICALE - SPESSORE	perim. 70, spina 60, ambito 60 cm
STRUT. ORIZZONT. - MATERIALI	volte al piano terra solai in legno a travi e travetti e pianellato di mantenimento o sostituzione oppure solai in ferro con voltine di mattoni
STRUT. ORIZZONT. - TESSITURE	tessitura parallela la fronte a tetto o a terrazzo, possibile presenza corpi precari
COPERTURE	volte alla romana, a doppia rampa o semicircolare; rampe discontinue ed eterogenee per le sopraelevazioni
SCALE - MATERIALI, STRUTTURA	parallele o perpendicolare al fronte nella seconda cellula
SCALE - DISPOSIZIONE	2 alloggi per piano
SCHEMA - DISTRIBUTIVO	4 aperture allienate con le finestre dei piani superiori, possibili variazioni dimensionali
PROSPETTO - P. TERRA	4 file di finestre
PROSPETTO - P. SUPERIORI	

(13) Per un approfondimento delle relazioni tra tipologia edilizia e tecniche costruttive all'Esquilino si veda DELLE CHIAIE, LULLI, 1991.

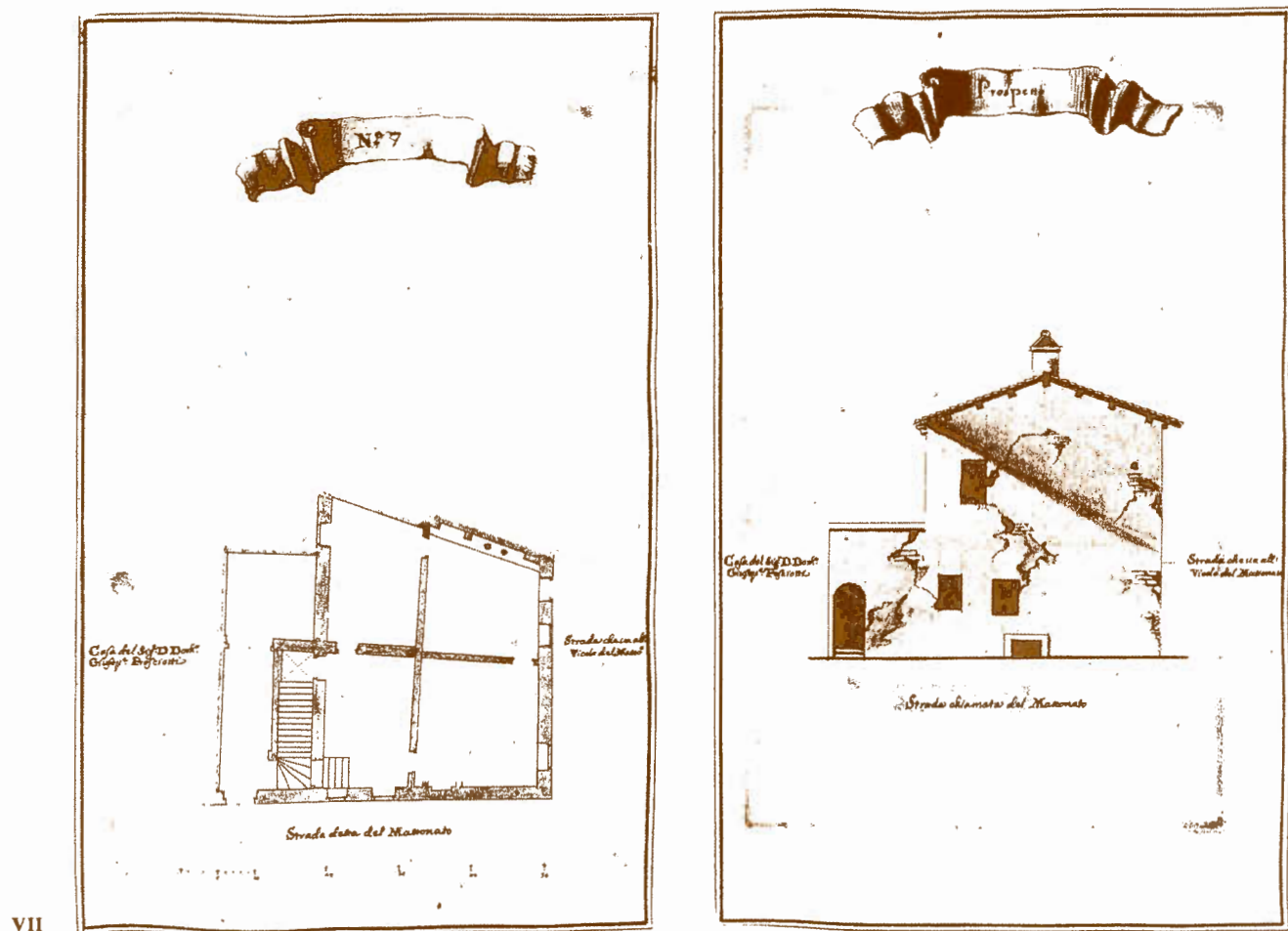


Fig. 52 - Esempio di variante sincrona d'angolo con scala posta nell'area di pertinenza ed accesso al fronte laterale (fonte: Catasto del Monastero di S. Cecilia in Trastevere, cit., pag. 29).

Esiste anche un altro tipo a corpo triplo strutturale con chiostrine aeroilluminanti, riconoscibile negli edifici compresi negli isolati tra via Principe Amedeo e via Amendola, che cade presto in disuso per la non convenienza economica a definire architettonicamente quattro prospetti (tanti sono quelli che risvoltano sul fronte strada).

I caratteri strutturali e distributivi del tipo portante sono: un corpo doppio strutturale con cellula di dimensioni comprese tra i 5,5 e i 7 m, per una profondità del fabbricato variabile tra 14 e 16 m. Negli edifici d'angolo la scala è posta nella cellula angolare interna e viene illuminata da un lucernario nel solaio di copertura; l'androne è passante. Negli edifici seriali il meccanismo distributore (androne più scala) è posto al centro del corpo di fabbrica. Il numero di piani è inizialmente di quattro elevazioni sopra il basamento ed ogni scala distribuisce due alloggi per piano.

Le murature verticali sono generalmente realizzate in muratura di tufo con ricorsi di mattoni, lo

spessore dei muri decresce di una testa di mattone ogni due piani: i muri dell'interrato e del piano terreno misurano 90 cm, quelli del primo e del secondo piano 75 cm, 60 cm quelli del terzo e del quarto, 45 cm quelli dei restanti piani. Gli orizzontamenti dei piani terreno e interrato sono realizzati con volte a botte e padiglione in mattoni; il sistema costruttivo dei solai è costituito da travi in ferro e voltine «alla romana» (fig. 62), ma nei primi edifici si trovano ancora solai lignei di panconi controsoffittati con stuoie di canne intrecciate.

Le scale si distinguono in scale ad anima e scale a volo o «alla romana» (figg. 63 e 64). Le prime poggiano sui muri perimetrali ed hanno un'anima centrale in mattoni pieni dello spessore di 12-15 cm; la copertura è costituita da voltine a botte ed a crociera in mattoni. Nel secondo tipo, divenuto di uso frequente nella seconda metà dell'ottocento, manca l'anima centrale ed i gradini poggiano su una piattabanda di mattoni, ammorsando profondamente nei muri perimetrali.

## 2. - MODALITÀ DI FORMAZIONE E TRASFORMAZIONE DEI TESSUTI

L'aggregazione dei tipi edilizi a formare il tessuto urbano deve essere letta tramite una dialettica di successione di percorsi<sup>(14)</sup>.

In una ipotetica prima fase esiste un percorso, detto percorso matrice, sui margini del quale si forma una zona edificata. Nella seconda fase, con lo scopo di occupare le aree retrostanti alla prima fascia costruita, si forma una serie di percorsi, i percorsi d'impianto edilizio, ortogonali al percorso matrice che si sviluppano contemporaneamente all'edificazione. Questi hanno la particolarità di essere tendenzialmente paralleli ed equidistanti ad una distanza doppia del lotto tipo, in modo che ciascun intervallo possa contenere due fasce di pertinenza. Il percorso di collegamento è la terza struttura in ordine cronologico e si forma quando sorge la necessità di connettere due o più percorsi d'impianto codificando di conseguenza la dimensione longitudinale dell'isolato. I percorsi di collegamento possono fungere da percorsi matrice in una fase di successiva espansione della città (si veda ad esempio il ruolo di via del Corso e via del Babuino nella formazione del tridente di Piazza del Popolo).

### 2.1 - LETTURA DI UN TESSUTO DI CASE A SCHIERA

È interessante ricostruire le fasi di formazione di un isolato di case a schiera del tridente romano avvalendoci anche degli schemi pubblicati in (FREGNA & POLITO, 1971) (fig. 65).

L'isolato è quello compreso tra via di Ripetta, via della Frezza, via dei Pontefici, via delle Colonnate (ex strada Lombarda), il cui assetto fondiario

si è definito nel primo ventennio del Cinquecento. L'edificazione è stata completata entro la prima metà del XVII secolo: il Catasto dei Canonici perpetui del 1661 ed il Libro delle Pianta dell'Ospedale di San Giacomo degli Incurabili del 1707 testimoniano dell'avvenuto intasamento delle aree di pertinenza e del processo di plurifamiliarizzazione in corso.

Secondo i modelli teorici di Muratori, di Vaccaro e di Caniggia, confermati dallo studio sulle proprietà di Fregna e Polito, la cronologia relativa dei percorsi - e di conseguenza del costruito - è la seguente (fig. 66): via di Ripetta è il percorso matrice preesistente, sul quale si attesta una fascia di pertinenza di lotti molto regolari di case a schiera. Si può ritenere, a buona ragione, che nella prima fase la costruzione degli edifici parta dal luogo più prossimo al centro (fase 1A) verso la periferia (fase 1B). Nella seconda fase si realizza prima il tracciamento dei percorsi d'impianto, poi la suddivisione in lotti, quindi l'edificazione che cresce sempre dai punti nodali (fase 2A) verso quelli più periferici (fase 2B). La terza fase è quella dell'edilizia sul percorso di collegamento, mentre, nella quarta fase, si completa la formazione dell'isolato con l'intasamento marginale delle aree di pertinenza. Una ulteriore quarta fase è quella della plurifamiliarizzazione che prevede accorpamenti, sopraelevazioni, e sostituzione dei tipi edilizi originari con altri di maggiore densità abitativa.

Basandoci su questo modello formativo si può formulare un'ipotesi sulla datazione relativa delle murature (fig. 67). Tale modello non può avere un valore assoluto in quanto gli «incidenti» sul percorso di strutturazione di un aggregato sono innumerevoli (condizionamenti dovuti alle presi-

(14) Gli strumenti più idonei ad indagare sulle forme dell'impianto originario e della sua evoluzione nel tempo sono le mappe catastali, ed in particolare le mappe dei catasti geometrico-particellari, che hanno il pregio di aver rilevato, con elevata precisione ed omogeneità di informazioni, i centri urbani ad un stadio ormai compiuto della loro storia, ma non ancora traumatizzati dalle massicce ristrutturazioni attuate a partire dalla fine dell'Ottocento.

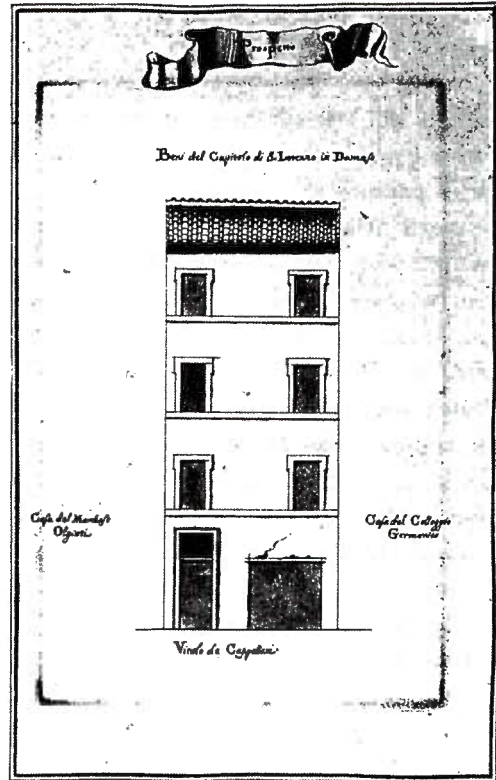
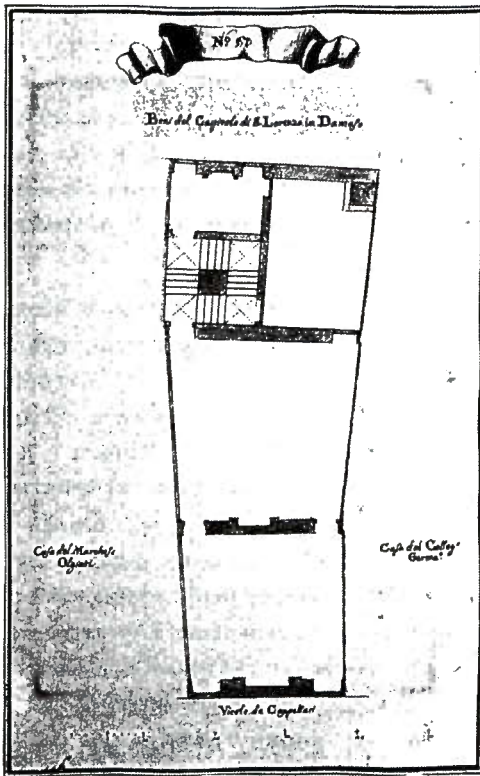
Una grande utilità per la ricostruzione delle fasi antecedenti al primo impianto del catasto assumono anche le carte, le mappe e le vedute prospettiche dei secoli precedenti che possono essere restituite in forma geometrica, avvalendosi appunto della cartografia catastale più antica, e quindi con un ruolo meno marginale.

Per la cartografia pre-ottocentesca si vedano in particolare le piante di L. BUFALINI (1551), di G.B. FALDA (1676), di G.B. NOLLI (1748).

In successione cronologica i catasti Otto-novecenteschi e le relative piante sono: Catasto Piano - Gregoriano (1819-1824); Cessato Catasto (1922); Catasto Edilizio Urbano (1939 - attuale). Di grande interesse è il fotopiano del centro storico pubblicato da Marsilio nel 1992. Per una panoramica della sterminata cartografia su Roma si veda anche: A. FRUTAZ, *Le piante di Roma*, 1962 (in III voll.).

Tra le numerose pubblicazioni, i rilievi del tessuto urbano e i confronti catastali più significativi sono contenuti in: *Prospetto geometrico delle fabbriche di Roma elevato nell'anno 1835 disegnato da P. Fortuna, G. Montiroli, L. Teloni*, edito a Roma da Giacomo Antonelli; R. Lanciani, *Forma Urbis Romae*, Roma 1893-1901; *Carta del centro storico di Roma 1/1000*, a cura di E. Guidoni; S. Muratori e altri, *Studi per un'operante storia urbana di Roma*, cit. Roma 1963; P. Vaccaro, *Rilievi del tridente di Piazza del Popolo* in: *Tessuto e tipo edilizio a Roma*, cit.

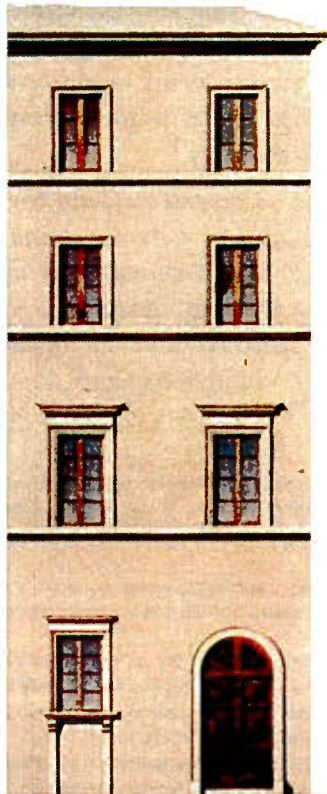
Sugli indici di esposizione riferiti alla sola presenza umana cfr. anche CER, 1988a e 1988b.



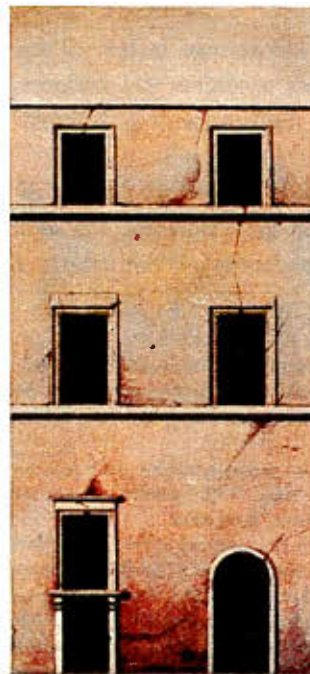
(LVII)

### Prospetto della Casa in Via dell'Arancio N° 90

Da ridarsi



Stato attuale



*La casa in Via dell'Arancio N° 90  
 è stata restaurata nel 1880  
 dall'architetto  
 Felice...*

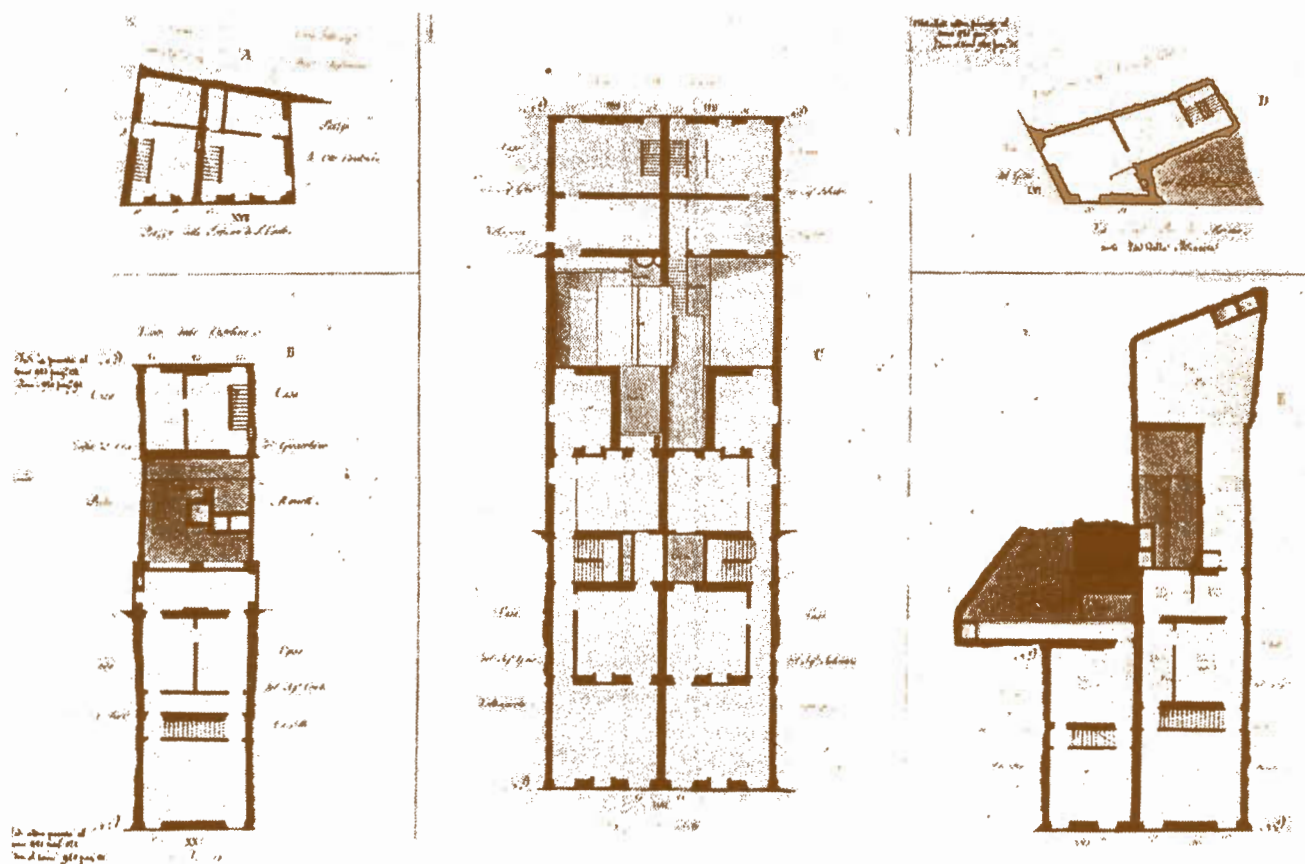


Fig. 54 – Al centro del disegno: due case a schiera plurifamiliari speculari (fonte: R. FREGNA, S. POLITO, cit. pag. 15).

stenze, natura della proprietà, caratteri morfologici del sito, ristrutturazioni e sostituzioni successive, ecc.), e dunque la ricerca storica ed il rilievo diretto appaiono insostituibili, ma può avere una duplice utilità: in primo luogo, in mancanza di una adeguata documentazione storica (fatto abbastanza frequente nello studio dell'edilizia non monumentale) è un indispensabile supporto per orientare nella comprensione delle complesse vicende edilizie che accompagnano anche la casa più povera. In secondo luogo sarà di altrettanto grande utilità nel momento in cui, apprestandoci ad un rilievo diretto, si dovranno individuare i punti da osservare con particolare attenzione perchè portatori di intrinseche debolezze della struttura muraria (cesure tra murature accostate, linee di sopraelevazione, ecc.), ma spesso occultati da più strati sovrapposti di intonaco.

Ipotizzando una formazione omogenea dell'isolato nel quale ciascuna casa a schiera venga costruita unitariamente, la prima casa di ciascuna fase è quella che ha le murature ammortate su tutti i lati. Le altre case, che si affiancano in successione l'una all'altra, potendo disporre del muro di spina in comune hanno, per ogni cellula, tre muri ammortati su tutta l'altezza. Il legame con il quarto muro, che appartiene alla fase costruttiva precedente, è garantita dalle «morse d'attesa» che vengono di norma lasciate nei muri su cui esiste il diritto di appoggio.

Le cellule d'intasamento vanno a chiudere i residui spazi liberi realizzando pareti di facciata e d'ambito che non hanno alcuna connessione tra loro, nè con le murature preesistenti. In questo caso non esistono neppure i legamenti puntuali offerti dalle morse d'attesa non essendo state realizzate su pareti originariamente di proprietà individuale.

◀ Fig. 53 – Case a schiera plurifamiliarizzate con l'addizione della scala nell'area di pertinenza e la sopraelevazione di uno o due piani (fonte: A: Catasto del Monastero di S. Cecilia in Trastevere, cit., pag. 59; B: F. GIOVANETTI, S. PASQUALI, *Ornato pubblico e rinnovo delle fabbriche, 1826-1870*, in: *Roma Capitale 1870-1911. Architettura e urbanistica. Uso e trasformazione della città storica*, Venezia 1984, pag. 64).

TAV. 9 - B13 Casa in linea di edificazione '800

CASA IN LINEA DI EDIFICAZIONE O DI ACCORPAMENTO E RISTRUTTURAZIONE TOTALE OTTOCENTESCA	
PERIODO	XIX sec.
TRASFORMAZIONI - PIANTA	accorpamento e ristrutturazione totale ottocentesca di più di 2 unità seriali oppure nuova edificazione su più due lotti, corpi a carattere precario aggettanti
TRASFORMAZIONI - ELEVAZIONE	PIU 1-2 piani, corpi precari sulla copertura
DIMENSIONI - FRONTE	15 - 36 m
DIMENSIONI - PROFONDITÀ	15 - 20 m
DIMENSIONI - ALTEZZA	5-8 piani più p. cantinato anteriormente
FONDAZIONI	continue
STRUT. VERTICALE - MATERIALI	muratura in pietrame con ricorsi in mattoni oppure in mattoni; arretramento all'ultimo piano, o agli ultimi piani in caso di sopraelevazioni; maglia retangolare; possibile sostituzione delle pareti con pilastri ai primi livelli
STRUT. VERTICALE - SPESSORE	perim. 70, spina 60, ambito 60 cm
STRUT. ORIZZONT. - MATERIALI	solai in legno a travi e travetti e pianellato di mantenimento o sostituzione oppure solai in ferro con voltine di mattoni; balcone al primo piano sopra il portone
STRUT. ORIZZONT. - TESSITURE	tessitura parallela la fronte
COPERTURE	a tetto o a terrazzo (più frequente), possibile presenza corpi precari
SCALE - MATERIALI, STRUTTURA	voltine alla romana, a doppia rampa o tripla rampa o elicoidale; rampe discontinue per le sopraelevazioni
SCALE - DISPOSIZIONE	parallele o perpendicolari al fronte nella seconda cellula
SCHEMA - DISTRIBUTIVO	2-4 alloggi per piano
PROSPETTO - P. TERRA	allineate con le finestre dei piani superiori, possibili variazioni dimensionali
PROSPETTO - P. SUPERIORI	finestre allineate verticalmente

TAV. 10 - B31 Edifici a blocco dell'800

EDIFICI CON CARATTERI DI RAPPRESENTATIVITÀ SU ASSI URBANI IMPORTANTI	
PERIODO	XIX sec.
TRASFORMAZIONI - PIANTA	corpi a carattere precario per servizi
TRASFORMAZIONI - ELEVAZIONE	nessuna
DIMENSIONI - FRONTE	15 - 36 m
DIMENSIONI - PROFONDITÀ	10 - 13 m
DIMENSIONI - ALTEZZA	maggiore o uguale a 5 piani
FONDAZIONI	a «barulle»
STRUT. VERTICALE - MATERIALI	tufo con ricorsi; sistema murario costituito da tre muri paralleli (anteriore, spina, posteriore) e da muri ortogonali, p. terra spesso con struttura ad archi e pilastri, p. terra a doppia altezza nell'androne; arretramento all'ultimo piano
STRUT. VERTICALE - SPESSORE	perim. 90, spina 75 - 90, ambito 90 cm
STRUT. ORIZZONT. - MATERIALI	solai in ferro con voltine di mattoni
STRUT. ORIZZONT. - TESSITURE	secondo il lato minore della cellula di norma perpendicolare al fronte
COPERTURE	a terrazzo
SCALE - MATERIALI, STRUTTURA	voltine alla romana, a «pozzo»
SCALE - DISPOSIZIONE	centrale o affiancata all'androne passante
SCHEMA - DISTRIBUTIVO	2-4 alloggi per piano
PROSPETTO - P. TERRA	basamento con ampie aperture allineate con le finestre dei piani superiori, portone centrale più ampio, finestre mezzanino
PROSPETTO - P. SUPERIORI	3-5-7 o più ordini di finestre gerarchizzate tra piano nobile e gli altri piani

### 3. - CARATTERIZZAZIONE STRUTTURALE DELLE TIPOLOGIE EDILIZIE ROMANE

#### 3.1 - GENERALITÀ

La classificazione tipologica strutturale adottata nel presente lavoro prende origine dalla classificazione dei tipi edilizi messa a punto nella ricerca C.L.E.R. (C.L.E.R., 1986). Tale classificazione ben si adatta alle esigenze precedentemente espresse, in quanto fa riferimento all'epoca di costruzione, non



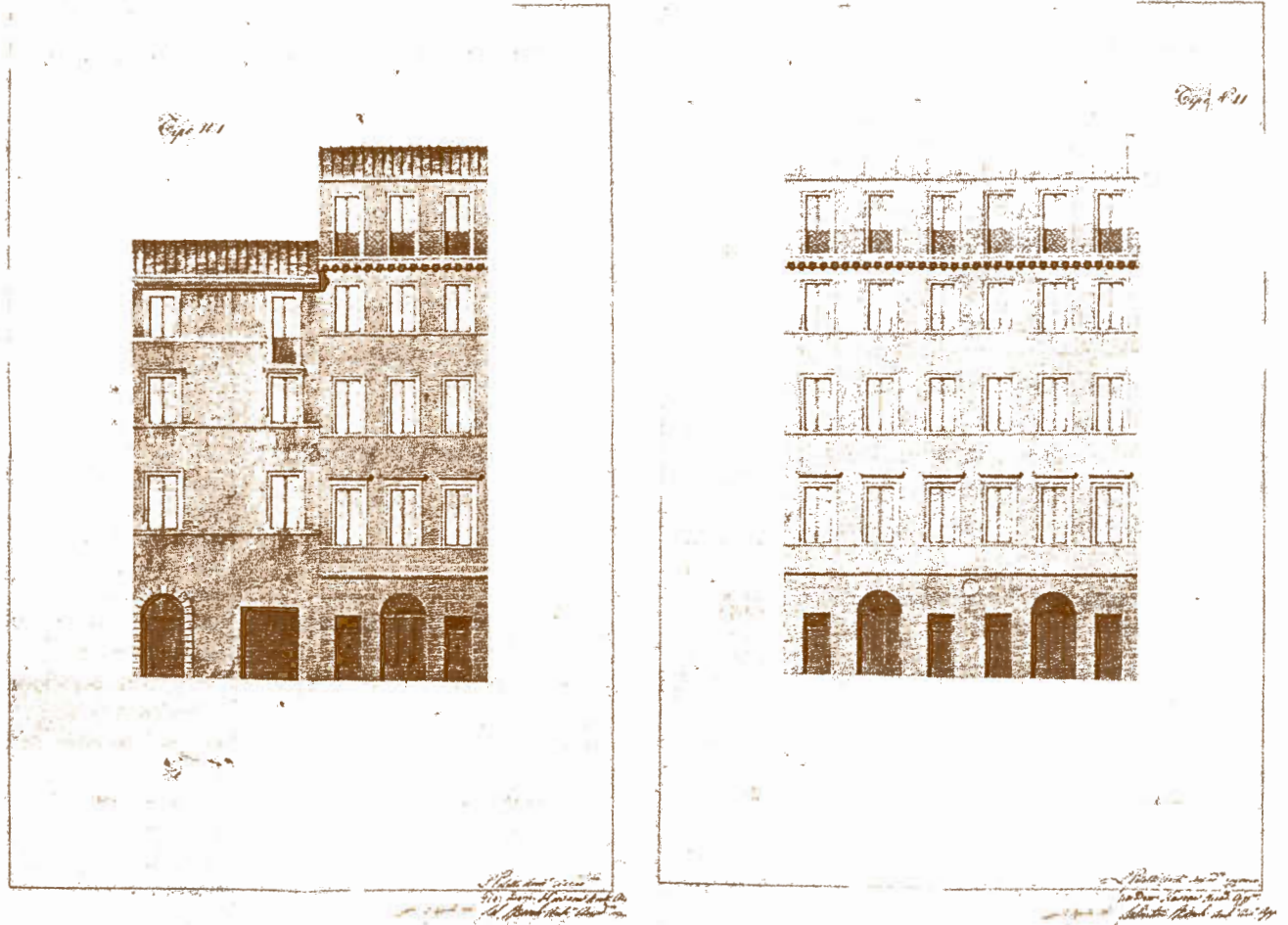


Fig. 55 – Esempi di case in linea derivate da rifusione di due case a schiera. A sinistra: stato preesistente; a destra: stato trasformato (fonte: F. GIOVANETTI, S. PASQUALI, cit., pag. 66).

ché alle epoche e alle modalità di trasformazione. In questo lavoro sono stati presi in esame solamente quei tipi edilizi a carattere residenziale a più vasta diffusione, per i quali è possibile individuare caratteri strutturali comuni e, dunque, ha un senso fornire delle valutazioni di vulnerabilità di tipo probabilistico. Si sono prese in esame le seguenti categorie principali:

Categoria A1: casa a schiera, casa in linea del '600-'700, casa in linea dell'800;

Categoria A2: casa signorile o borghese del '400, '500, '600;

Categoria B1: casa in linea di trasformazione ottocentesca derivante da accorpamento di lotti seriali o di sostituzione di tessuto di permanenza;

Categoria B3: blocco ottocentesco costituito su sventramento del tessuto urbano preesistente o in zone di nuova espansione.

Si sono invece escluse le categorie relative a residenze nobiliari, attrezzature (istruzione, cultura,

uffici, amministrazione, residenza collettiva, servizi anonari, etc.), monumenti, resti archeologici, torri e edifici per il culto, ossia le categorie in cui i singoli edifici presentano caratteristiche uniche che ne impediscono la tipizzazione.

La classificazione C.L.E.R. (tav. 1 f.t.) è stata attentamente riesaminata e confrontata con la bibliografia esistente e con alcune esperienze progettuali, così da verificarne la completezza sia in termini di presenza di tutti i tipi strutturalmente distinti, sia in termini di descrizione delle caratteristiche strutturali dei singoli tipi. Si è giunti così a caratterizzare, nell'ambito delle 4 categorie esaminate, e sulla base dei relativi tipi individuati nella ricerca C.L.E.R., 12 tipologie strutturali. Per ciascuna di esse è stato possibile compilare una scheda descrittiva, nella quale vengono definite le caratteristiche strutturali che maggiormente influenzano la risposta sismica. Le schede sono riportate nelle tavv. 1 ÷ 11 precedentemente richiamate.

## 3.2 - IDENTIFICAZIONE DEI PARAMETRI STRUTTURALI

Nella classificazione adottata, le tipologie strutturali vengono caratterizzate dalle voci di seguito elencate:

1) Periodo: periodo in cui la costruzione è stata eseguita e/o ha subito trasformazioni;

2) Trasformazioni - Pianta: tipo di trasformazioni in pianta subite dalla costruzione nella sua storia, come aggiunta di nuovi corpi, accorpamenti, ridistribuzioni, etc.;

3) Trasformazioni - Elevazione: tipo di trasformazioni in elevazione subite dalla costruzione nella sua storia, come sopraelevazioni, aggiunta di corpi precari in copertura, etc.;

4) Dimensioni - Fronte: larghezza del fronte in metri;

5) Dimensioni - Profondità: profondità dell'edificio in metri;

6) Dimensioni - Altezza: altezza espressa in numero di piani;

7) Fondazioni: tipo di fondazione, con notizie su eventuali variazioni in relazione alle trasformazioni subite dall'edificio;

8) Struttura Verticale - Materiali: tipo di materiali e tessitura della muratura portante, come muratura di mattoni, a sacco, in pietrame, etc.;

9) Struttura Verticale - Spessore: valori tipici degli spessori dei muri perimetrali, di spina, d'ambito;

10) Struttura Orizzontale - Materiali: tipo di materiali degli orizzontamenti (legno, volte in muratura, etc.);

11) Struttura Orizzontale - Tessitura: direzione della tessitura per i solai in legno o in ferro;

12) Coperture: tipo di copertura (a tetto, a terrazza, etc.);

13) Scale - Materiali, Struttura: materiali e schema strutturale della scala (in legno, volterrane, volte a botte, etc., a una, due, tre rampe);

14) Scale - Disposizione: disposizione nell'ambito dell'edificio (centrale, laterale, etc.);

15) Schema Distributivo: distribuzione delle funzioni ai vari piani;

16) Prospetto - P. Terra: caratteristiche del prospetto al piano terra (simmetria, numero di aperture, etc.);

17) Prospetto - P. Superiori: caratteristiche del prospetto ai piani superiori (simmetria, numero di aperture, etc.).

TAV. 11 - B32 Edifici a blocco dell'800

EDILIZIA TIPICAMENTE RESIDENZIALE SU AREE DI NUOVA ESPANSIONE	
PERIODO	XIX sec.
TRASFORMAZIONI - PIANTA	corpi aggettanti a carattere precario per servizi
TRASFORMAZIONI - ELEVAZIONE	nessuna
DIMENSIONI - FRONTE	blocco unico; 30-35 m; varie per altri tipi
DIMENSIONI - PROFONDITÀ	blocco unico: 25; varie per altri tipi
DIMENSIONI - ALTEZZA	maggiore o uguale a 5 piani
FONDAZIONI	continue o a «barulle»
STRUT. VERTICALE - MATERIALI	tufo con ricorsi; sistema murario costituito da tre muri paralleli (anteriore, spina, posteriore) e da muri ortogonali; arretramento all'ultimo piano
STRUT. VERTICALE - SPESSORE	perim. 90, spina 75-90, ambito 90 cm
STRUT. ORIZZONT. - MATERIALI	solai in ferro con voltine di mattoni
STRUT. ORIZZONT. - TESSITURE	perpendicolari al fronte
COPERTURE	a terrazza
SCALE - MATERIALI, STRUTTURA	voltine alla romana
SCALE - DISPOSIZIONE	più scale disposte nei punti più stabili strutturalmente
SCHEMA - DISTRIBUTIVO	<i>blocco unico</i> : isolato a cavedio centrale oppure aggregazione in serie con interposizione di cavedi; <i>tipo in linea</i> : edifici d'angolo, lineari, a T o a C
PROSPETTO - P. TERRA	basamento con ampie aperture allineate con le finestre dei piani superiori, portone centrale più ampio, finestre mezzanino
PROSPETTO - P. SUPERIORI	5-7 o più ordini di finestre gerarchizzate tra piano nobile e gli altri piani

Alcune delle voci riportate nelle schede non hanno carattere prettamente strutturale, ma sono state comunque considerate perché forniscono indicazioni utili, seppur indirette, su alcune caratteristiche strutturali non altrimenti rilevabili, che possono influenzare sensibilmente il comportamento sismico. Ad esempio, le informazioni sui prospetti permettono di conoscere l'organizzazione della parete di facciata in relazione all'entità e alla disposizione delle aperture.

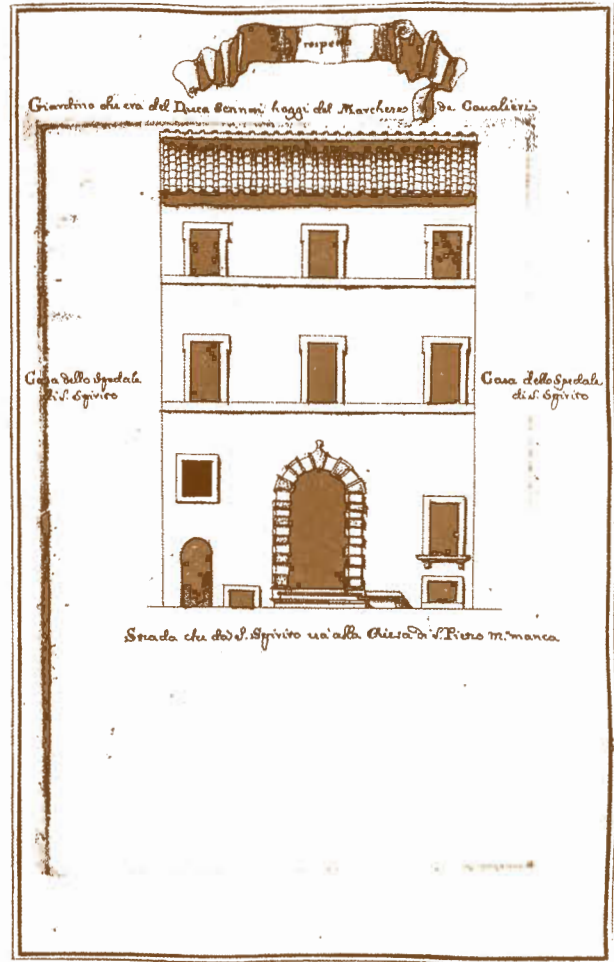
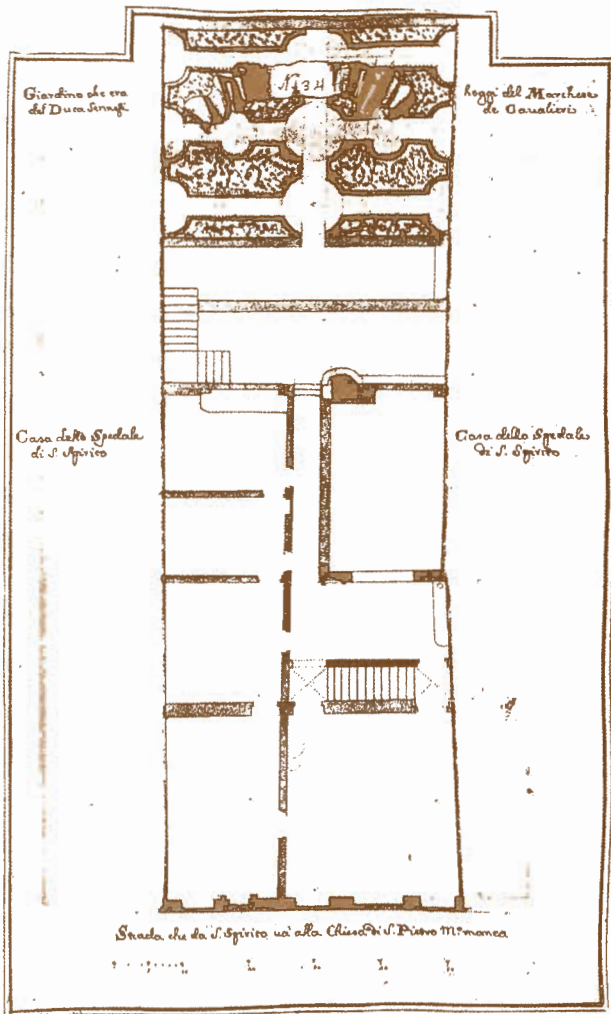


Fig. 56 - Palazzetti derivati dalla rifusione di edilizia di base (fonte: Catasto del Monastero di S. Cecilia in Trastevere, cit., pag. 49).

#### 4. - ATTRIBUZIONE DELLA CLASSE DI VULNERABILITÀ

##### 4.1 - ASPETTI GENERALI

La valutazione della vulnerabilità è sicuramente il passo più critico dell'intera procedura, per la carenza di riferimenti oggettivi derivanti da elaborazioni statistiche di dati sul danneggiamento prodotto da terremoti passati sulle tipologie edilizie romane.

I punti essenziali della metodologia adottata nell'applicazione alla singola tipologia strutturale sono sintetizzabili in:

a) individuazione dei principali meccanismi di danneggiamento e collasso;

b) valutazione delle forze sismiche che attivano i suddetti meccanismi attraverso semplici modelli statici, trasformazione delle forze sismiche in accelerazioni di picco al suolo, tenendo conto del

contenuto in frequenza del terremoto, o più precisamente della forma dello spettro di risposta, e assunzione di una distribuzione probabilistica intorno a tali valori in relazione alla variabilità della geometria e delle caratteristiche meccaniche dei materiali della costruzione;

c) valutazione della probabilità di attivazione di uno o più meccanismi, per alcuni prefissati livelli di intensità sismica espressi in termini di accelerazione di picco al suolo;

d) valutazione delle distribuzioni condizionali di probabilità di danno per ciascun livello di intensità, nell'ipotesi che tali distribuzioni siano di tipo binomiale (BRAGA *et alii*, 1982), equiparando la probabilità totale di attivazione dei meccanismi a quella fornita dalla distribuzione di probabilità di danno assunta.

Nei vari passaggi della procedura numerose sono le ipotesi assunte sulla base sia dell'analisi stori-

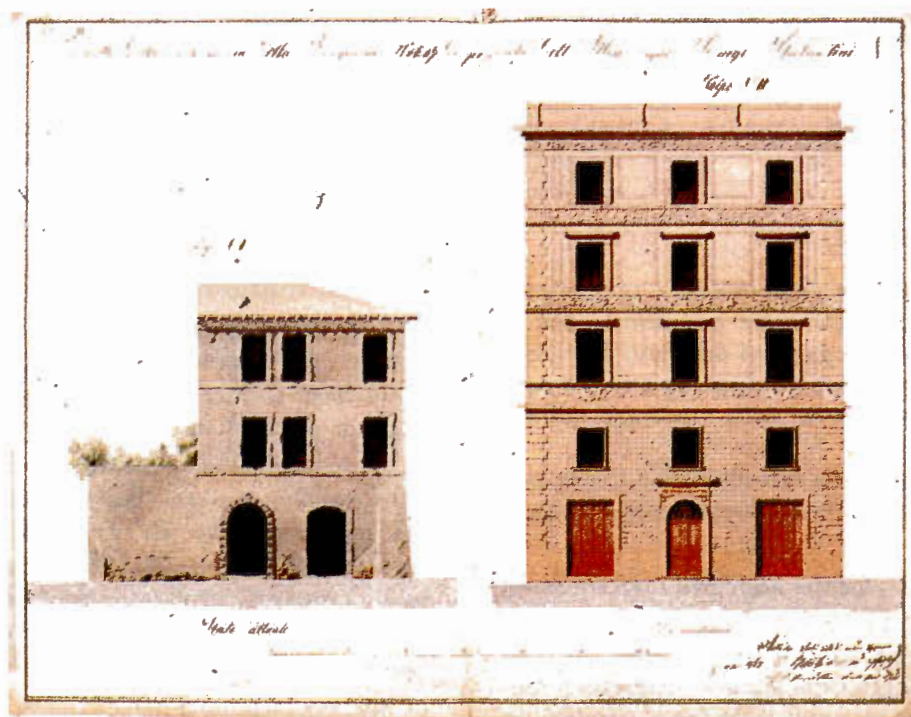
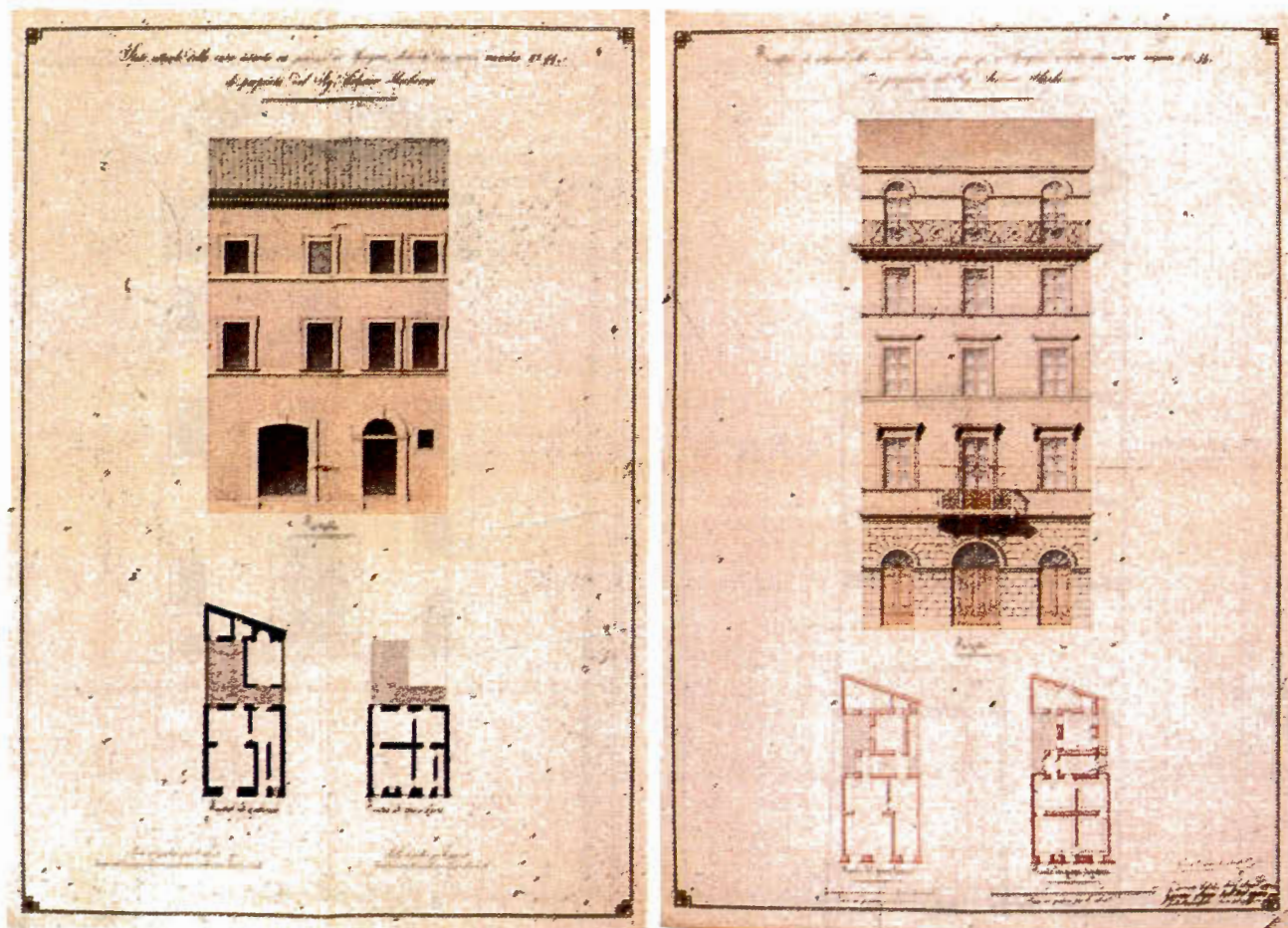


Fig. 57 – Case in linea di rifusione con riordino intenzionalizzato del prospetto (fonte: F. GIOVANETTI, S. PASQUALI, cit., pagg. 65-69).

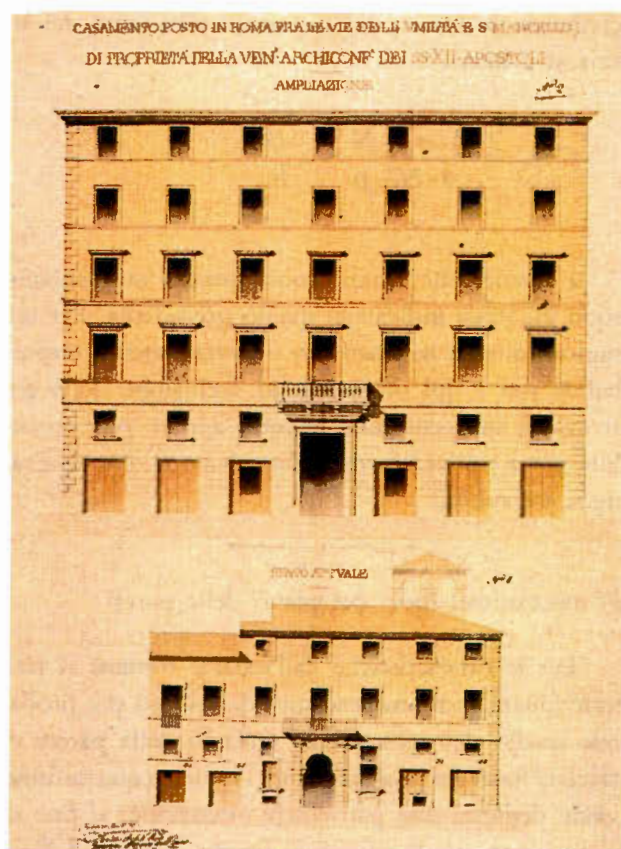


Fig. 58 - Case in linea di rifusione con riordino intenzionalizzato del prospetto (fonte: F. GIOVANETTI, S. PASQUALI, cit., pag. 88).

co-architettonica (geometria, spessori della muratura) che dell'esperienza e dello stato dell'arte (resistenza dei materiali, ipotesi di modellazione dei meccanismi di danneggiamento e collasso). Le ipotesi adottate nella procedura sono verificate attraverso il confronto finale delle distribuzioni del danno calcolate con quelle osservate su tipologie edilizie analoghe nei terremoti del 1980 e del 1984 (BRAGA *et alii* 1982; BRAGA *et alii*, 1986). Tale confronto garantisce la robustezza all'approccio ed un preciso aggancio alla realtà.

#### 4.2 - MECCANISMI DI DANNEGGIAMENTO E COLLASSO

Le valutazioni di vulnerabilità fanno riferimento essenzialmente alle modalità di danneggiamento e collasso delle pareti, prendendo in considerazione i due seguenti tipi di meccanismi:

- meccanismi di danneggiamento e collasso delle pareti nel proprio piano;
- meccanismi di danneggiamento e collasso delle pareti fuori del piano.

La caratteristica tipologica del singolo edificio che differenzia il comportamento delle sue pareti, orientandolo all'uno o all'altro dei due meccanismi detti, è la capacità degli orizzontamenti di funzionare a diaframma rigido e di fungere da vincoli orizzontali per le pareti.

Con riferimento a situazioni tipiche dell'edilizia romana, sono state effettuate alcune valutazioni semplificate dalle quali si è ricavato il valore del coefficiente sismico  $C$  che attiva i singoli meccanismi.

##### a) Meccanismi nel piano delle pareti

Si possono verificare essenzialmente tre tipi di meccanismi di collasso globale, il primo legato alla rottura a taglio, il secondo alla rottura a flessione, il terzo alla rottura per schiacciamento dei maschi murari.

Si assume:

$p$  = peso per metro quadrato di superficie  
 $= 1500 \text{ Kg/m}^2$

$A_{\text{tot}}$  = area della superficie in pianta dell'edificio

$A_{\text{mur}}$  = area della muratura nella direzione dell'azione  $= \eta A_{\text{tot}}$ ; questa valutazione tiene conto della presenza di aperture nella sezione muraria

$P_{\text{tot}}$  = peso totale edificio  $= N A_{\text{tot}} p$

$S_{\text{tot}}$  = taglio alla base dell'edificio  $= C P_{\text{tot}}$

$C$  = coefficiente sismico per il quale il singolo meccanismo non viene attivato

$N$  = numero totale di piani

$\tau_k$  = resistenza a taglio puro della muratura

$\tau_u$  = tensione tangenziale ultima della muratura in presenza di  $\sigma_0$

$\sigma_k$  = resistenza a compressione della muratura

$\sigma_0$  = tensione di compressione sulla muratura per carichi verticali

$D$  = dimensione trasversale dell'edificio

$h$  = altezza di interpiano

##### a1) meccanismo a taglio

Si ipotizza un criterio di rottura nel quale  $\tau_u$  è dato dalla ben nota relazione (TURNSEK & CACOVIC, 1970):

$$\tau_u = \tau_k \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{1.5\tau_k}}$$

Si ottiene allora:

$$C \leq \eta \frac{\tau_k}{N \cdot p} \sqrt{1 + \frac{N \cdot p}{\eta \cdot 1.5 \cdot \tau_k}}$$

### a2) meccanismo a flessione dei maschi murari

Occorre prendere in considerazione la possibilità che la rottura avvenga per prevalenza della flessione nei maschi murari troppo snelli. È difficile individuare una situazione standard a cui si possa fare riferimento, perché le situazioni pericolose molto spesso derivano dalle trasformazioni subite nel tempo dall'edificio, che hanno determinato la presenza di vani eccessivamente grandi e di porticati, la eliminazione di pareti portanti sostituite con travi e pilastri, la creazione di nuove aperture, eventualmente tamponando in maniera inefficace le aperture preesistenti, e in generale da tutte quelle trasformazioni che riducono l'area complessiva della muratura e determinano una snellezza eccessiva dei maschi murari. Per tali ragioni si assumono come valori di riferimento la metà dei valori calcolati per il meccanismo a<sub>1</sub>.

### a3) meccanismo per schiacciamento dei maschi murari

Questo meccanismo è dovuto ai valori eccessivi della compressione negli edifici alti ( $N > 4$ ), soggetti ad un ulteriore incremento prodotto dal momento ribaltante dovuto al sisma.

Trascurando gli incrementi locali dovuti a particolari conformazioni e considerando invece l'in-

cremento prodotto dal momento ribaltante del sisma si ottiene:

$$C \leq \frac{2 \cdot \eta \cdot \sigma_k - N \cdot p}{4 \cdot N^2 \cdot p} \cdot \frac{D}{h}$$

I fattori che favoriscono questo meccanismo sono gli stessi indicati in quello precedente. Per tali ragioni questo meccanismo è estremamente improbabile per i tipi originari, ad esclusione delle costruzioni ottocentesche, mentre appare più probabile per i tipi trasformati, in relazione alla trasformazione subita.

### b) meccanismi fuori del piano delle pareti

Per le caratteristiche dell'edilizia romana si può individuare come meccanismo di collasso più probabile quello determinato dal collasso della parete di facciata fuori del proprio piano. A questo meccanismo viene dedicata una particolare attenzione, al fine di quantizzare, per le situazioni tipiche, i valori dell'accelerazione sismica che possono determinare il collasso.

Lo schema resistente è riferibile, grazie all'allineamento verticale e orizzontale delle finestre, ad un sistema di fasce orizzontali e maschi verticali. In assenza di un'efficace azione di vincolo dei solai,

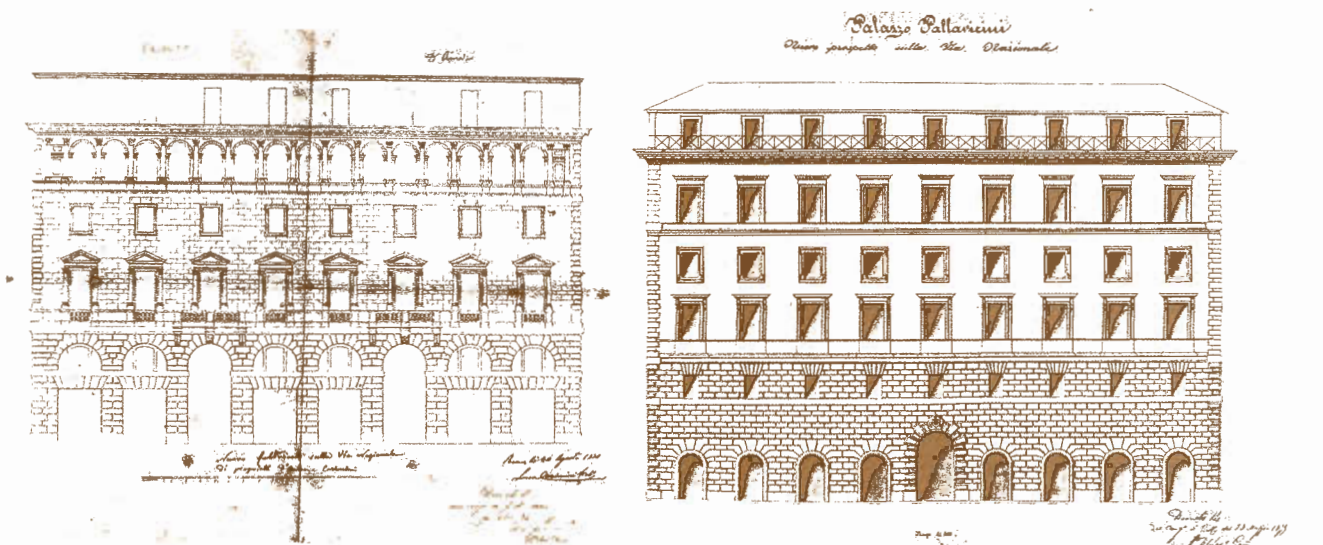


Fig. 59 – Edifici post-unitari a blocco di elevata rappresentatività: palazzo Carimini D'Amico (A) e palazzo Pallavicini Rospigliosi (B) in via Nazionale (fonte: S. PASQUALI, *Via Nazionale. Le vicende urbanistiche e la sua architettura*, in: *Roma Capitale...* cit., pag. 311).

le fasce orizzontali possono svolgere un ruolo decisivo nella riduzione delle sollecitazioni sui maschi verticali, a condizione che le pareti ortogonali a quelle in esame costituiscano vincoli efficaci per le azioni ortogonali a detta parete. In assenza di tale condizione, i maschi murari allineati lungo la verticale agiscono secondo uno schema di mensola incastrata al suolo e alta quanto l'edificio, tale da produrre sollecitazioni intollerabili anche per sismi

di bassa intensità e, dunque, una vulnerabilità sismica estremamente elevata.

Il comportamento delle fasce orizzontali può essere prevalentemente assiale (effetto arco) (fig. 68) o prevalentemente flessionale (fig. 69). Si passa dall'uno all'altro comportamento al variare del rapporto tra lo spessore del muro e la luce su cui opera ed al variare delle condizioni del vincolo di estremità della parete. In particolare:

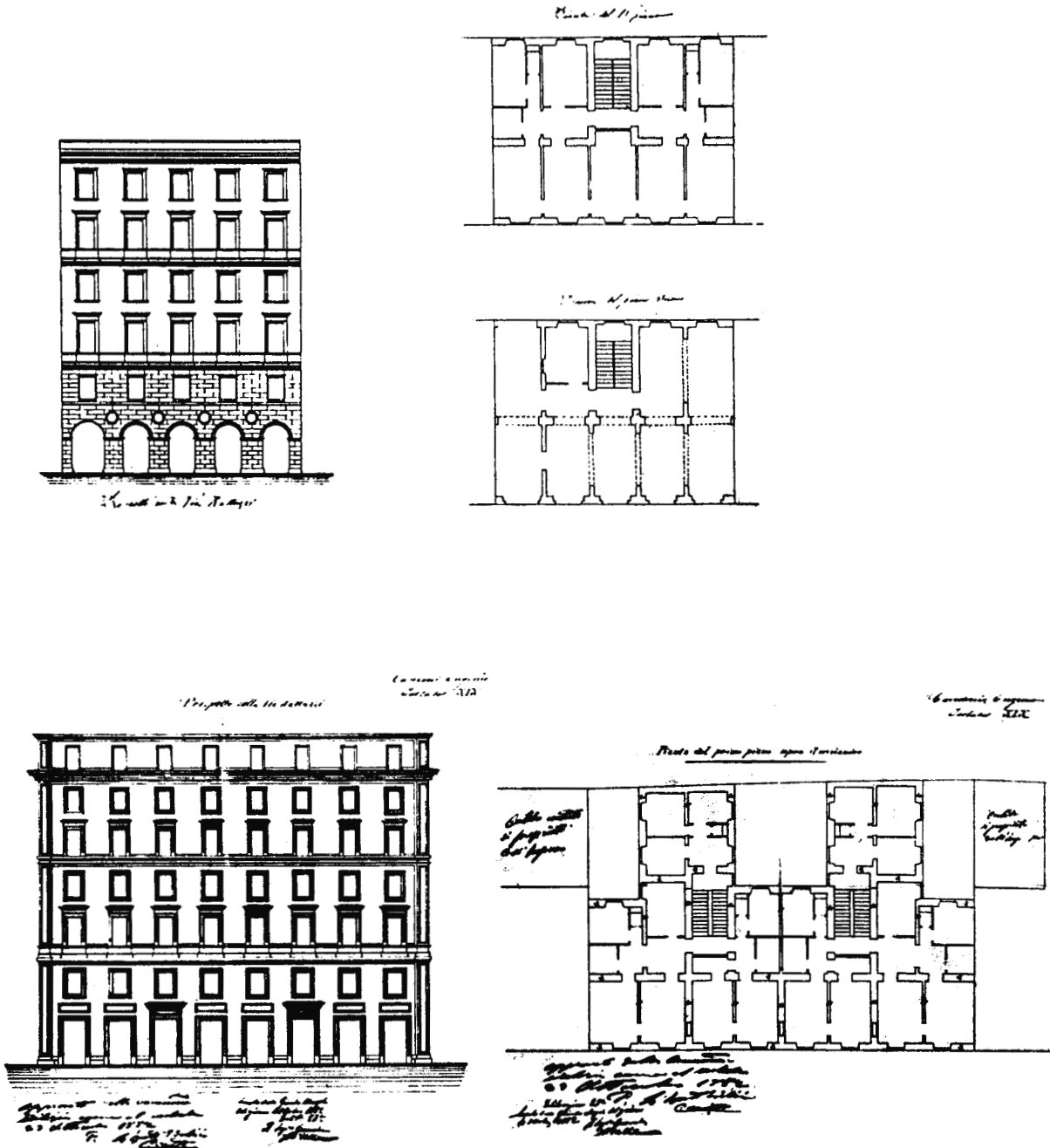


Fig. 60 - Edifici in linea dell'Esquilino con interessi dispari (A) o pari (B) (fonte: P. VACCARO, M. AMERI, *Progetto e realtà nell'edilizia romana dal XVI al XIX sec.*, tavv. 16-18)

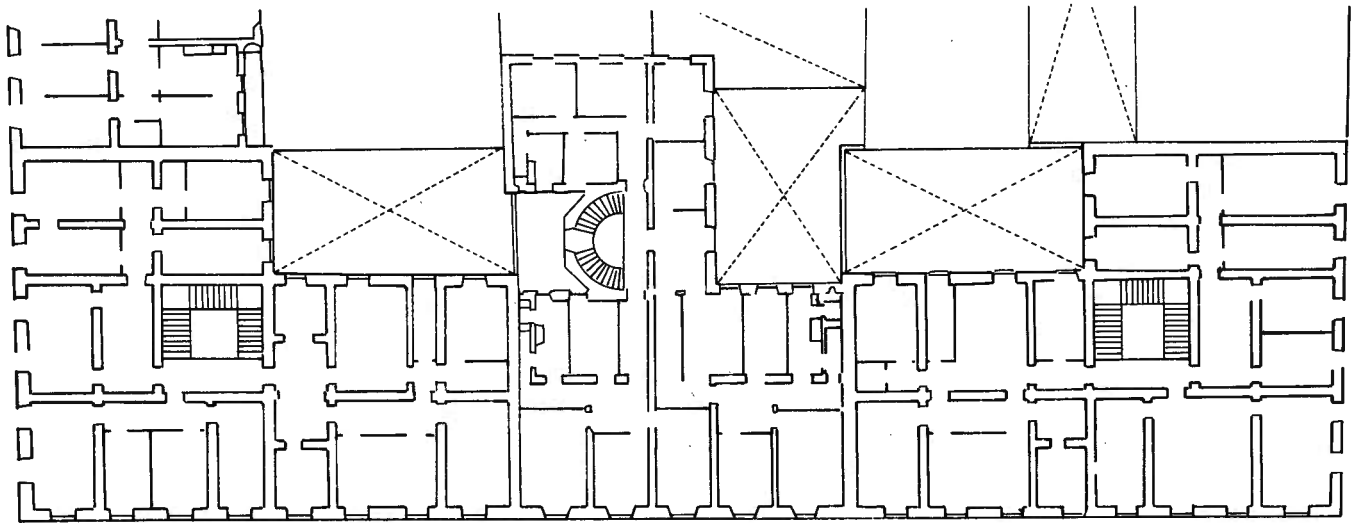


Fig. 61 - Isolato dell'Esquilino con i tipi d'angolo e la casa in linea l'intasamento (fonte: P. VACCARO, M. AMERI, cit., tav. 4).

1) si suppone un comportamento prevalentemente assiale per pareti aventi un rapporto tra luce, ovvero distanza tra due pareti ortogonali consecutive, e spessore non superiore a  $10 \div 12$ , e condizioni alle estremità tali da garantire l'assenza di spostamenti orizzontali nel piano della parete. Esempi tipici di questo comportamento si hanno in caso di edifici in linea o a schiera per le parti sufficientemente lontane dalle testate (distanza dalla testata almeno pari alla distanza da terra), o, anche per le parti di testata, quando sono presenti catene disposte sulla facciata, parallelamente ad essa. Inoltre gli ammorsamenti tra muri di spina e muri di facciata debbono avere resistenza sufficiente a sopportare, in qualità di vincoli ortogonali alla parete di facciata, le azioni trasmesse dalla stessa parete.

2) si suppone un comportamento prevalentemente flessionale per pareti aventi un rapporto tra luce, ovvero distanza tra due pareti ortogonali consecutive, e spessore superiore a  $10 \div 12$ . Esempi tipici di questo comportamento si hanno in caso di edifici in linea o a schiera per le parti vicine alle testate (distanza dalla testata minore della distanza da terra), per i quali gli ammorsamenti tra muri di spina e muri di facciata abbiano resistenza sufficiente a sopportare, in qualità di vincoli in direzione ortogonale, le forze sismiche trasmesse dalla parete di facciata.

Questi meccanismi vengono di seguito esaminati in dettaglio, distinguendo le singole modalità sopra individuate.



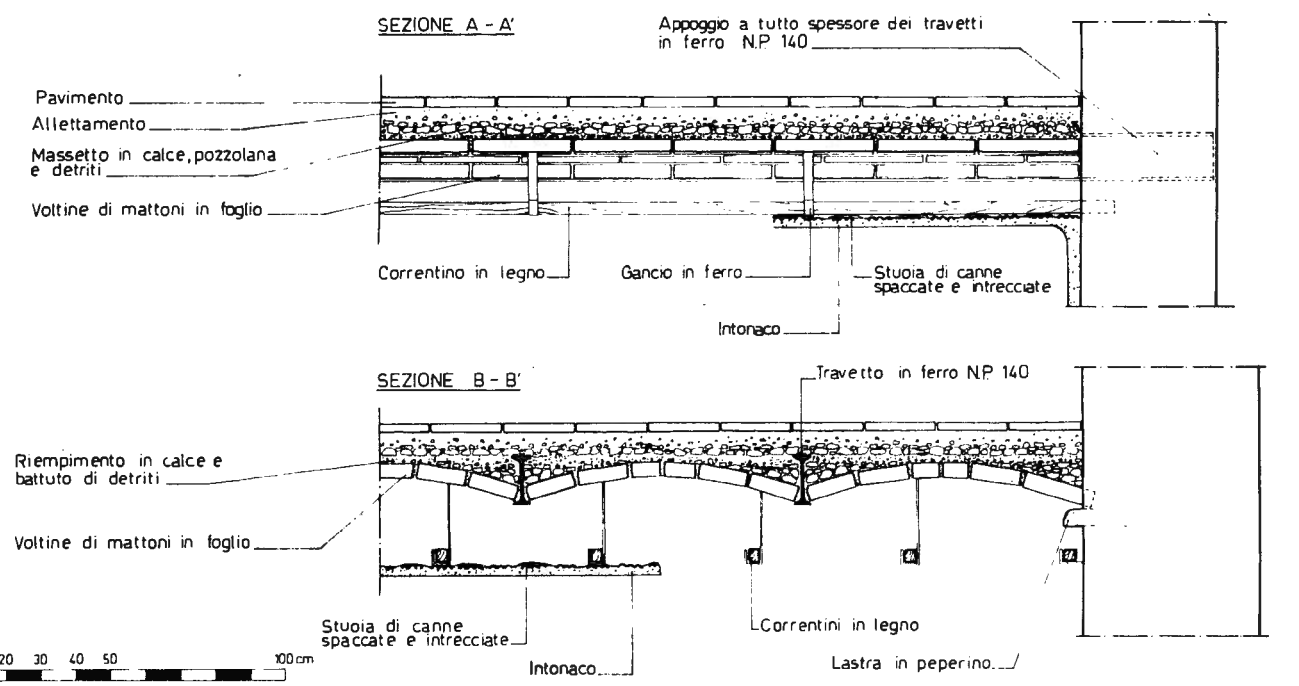
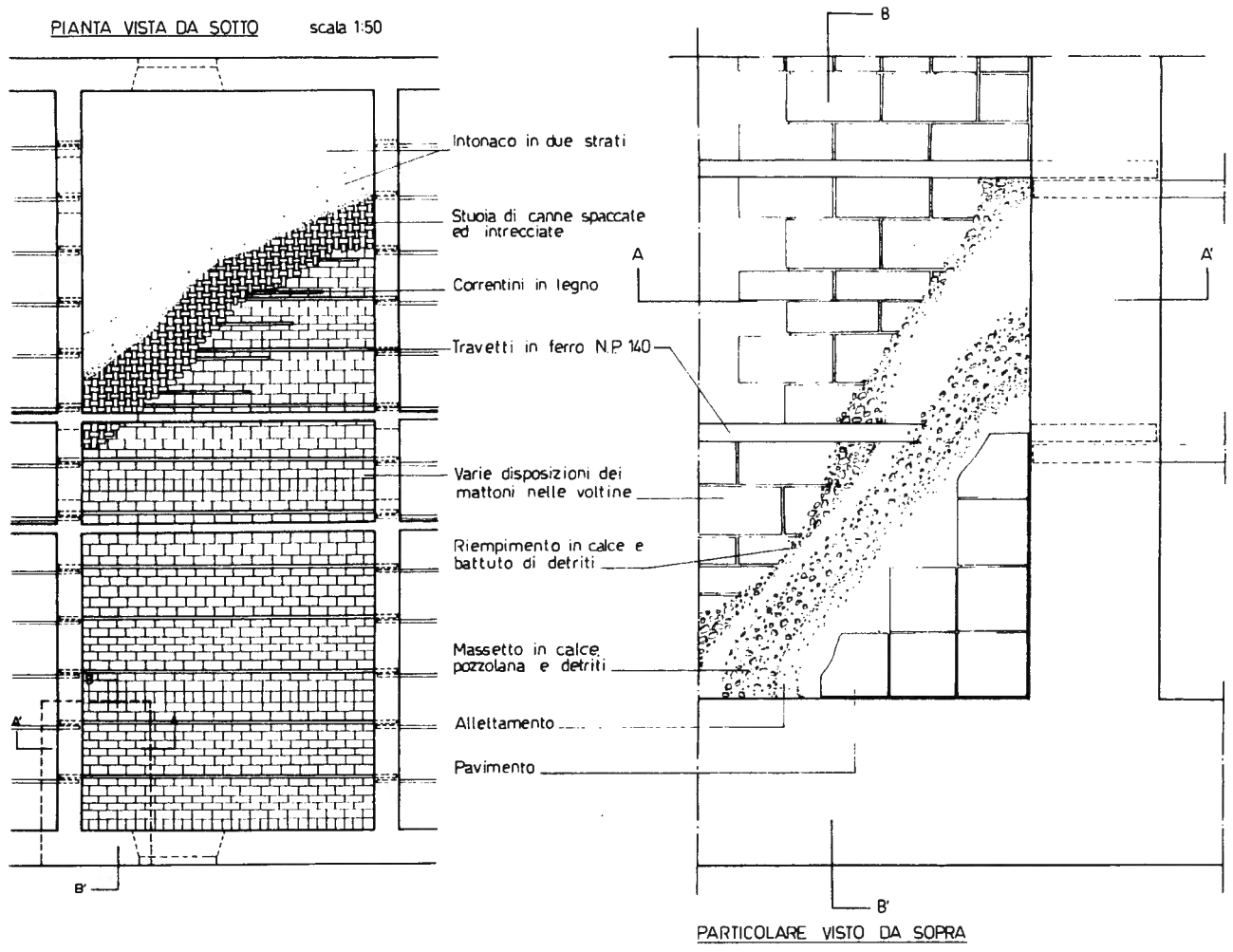


Fig. 62 Solai in ferro a voltine «alla romana» all'Esquilino (fonte: Tesi di laurea di A.G. DELLE CHIAIE, G. LULLI, *Analisi dei sistemi costruttivi e metodologie d'intervento nelle costruzioni romane del periodo umbertino*, Facoltà di Architettura di Roma «La Sapienza» a.a. 1990/91, relatore: Prof. A. Giuffrè, correlatori: arch. V. Ceradini, F. Giovanetti, tav. 14).

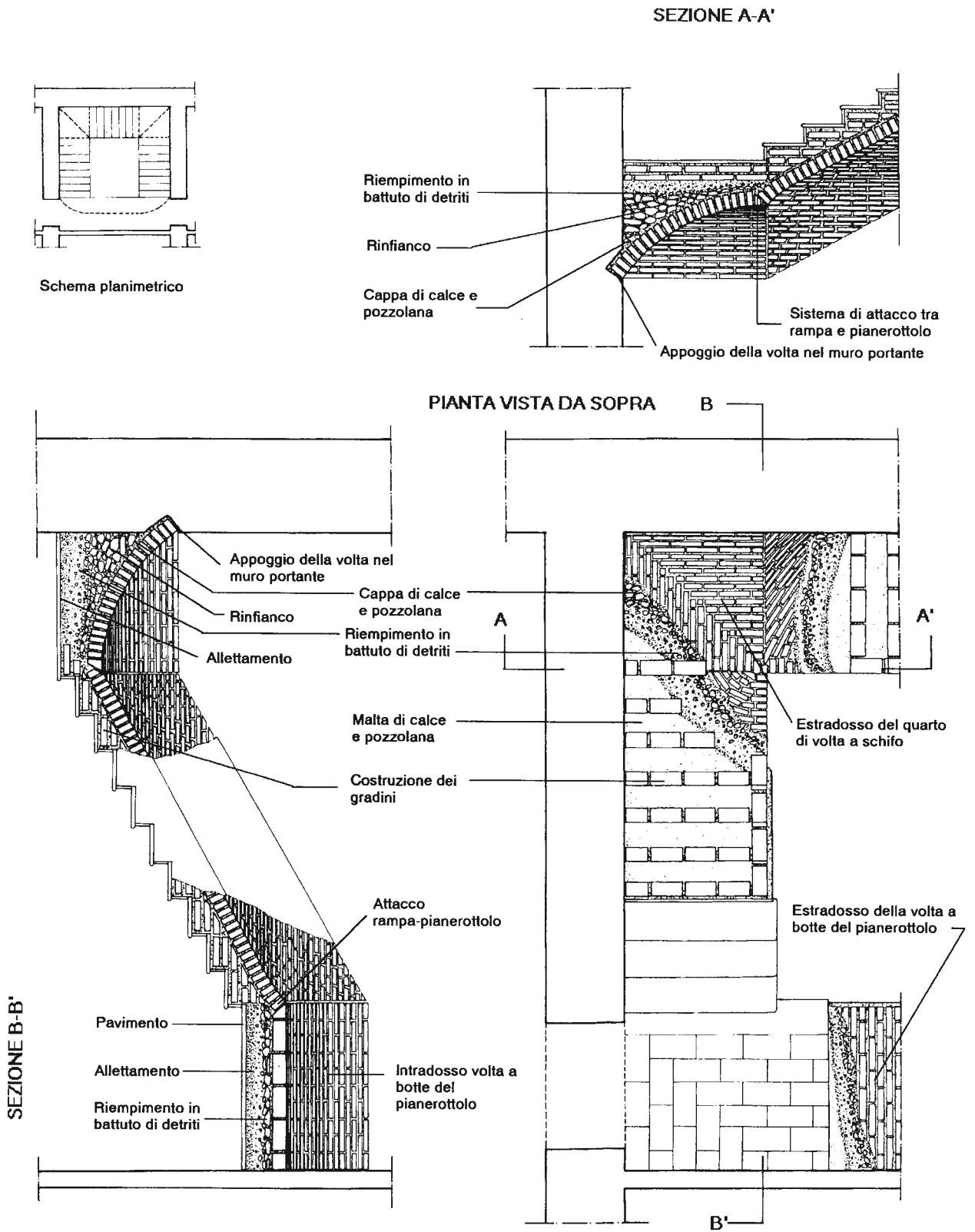
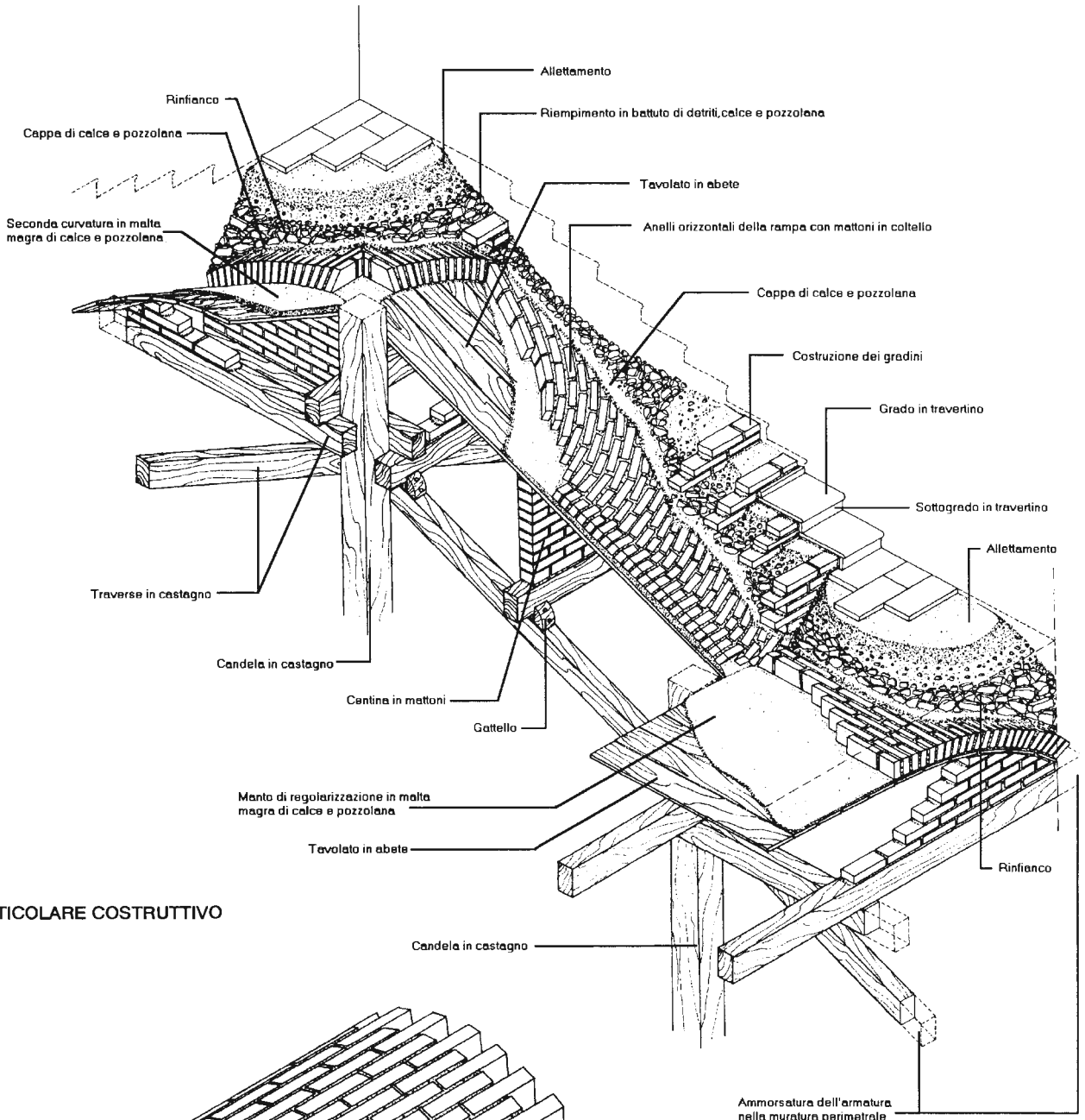


Fig. 63 Rilievo di una scala a volo o «alla romana» all'Esquilino (fonte: Tesi di laurea di di A.G. DELLE CHIAI, G. LULLI, cit. tav. 22).

VISIONE ASSONOMETRICA



PARTICOLARE COSTRUTTIVO

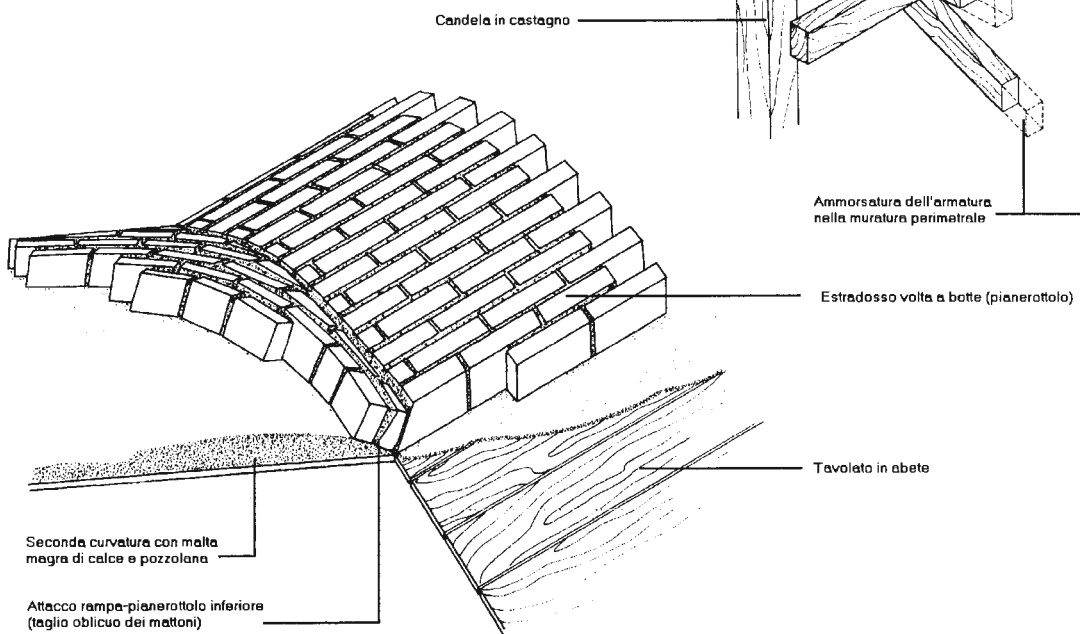


Fig. 64 Vista assonometrica e particolare della scala della fig. 63 (fonte: Tesi di laurea di di A.G. DELLE CIAMI, G. LULLI, cit.).

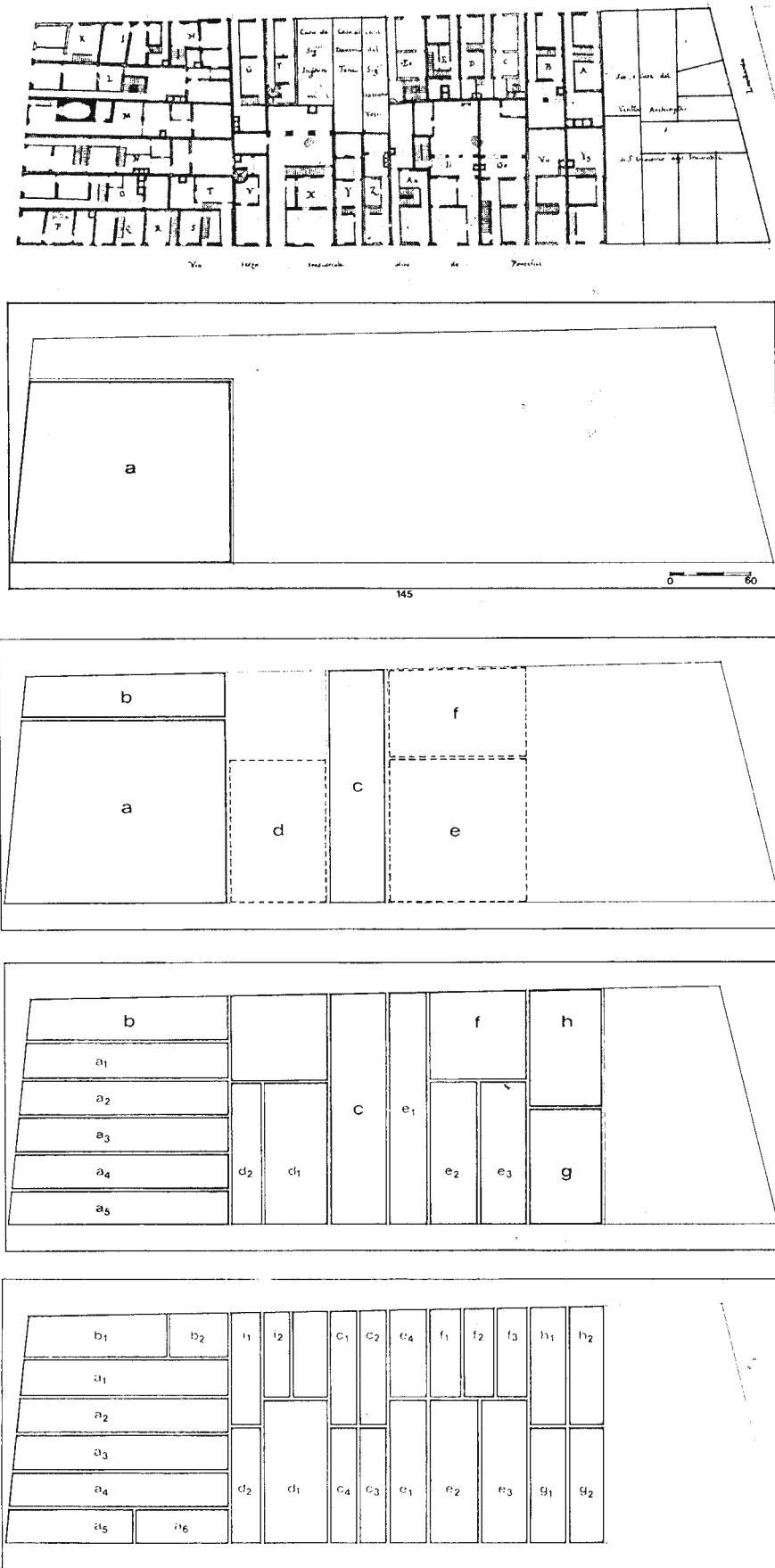


Fig. 65 Isolato compreso tra via Ripetta, via della Frezza, via dei Pontefici. Ricostruzione delle fasi di formazione dei lotti ottenuta attraverso i dati estratti dal Catasto dei Canonici perpetui del 1661 (fonte: pubblicato in *Controspazio* n. 9-1971 pag. 8).

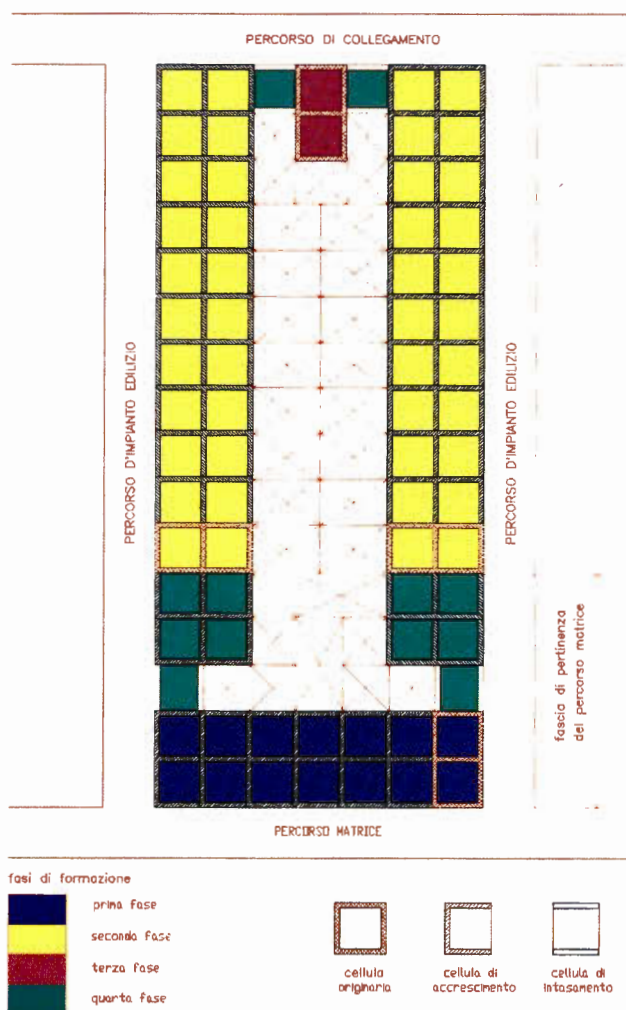


Fig. 66 Modello teorico delle fasi di formazione dell'isolato della fig. 65 (fonte: elaborazione di M. Zampilli, cit.).

b1) meccanismi nel piano ortogonale alla parete con funzionamento delle fasce murarie prevalentemente assiale

Si ipotizza un comportamento ad arco a tre cerniere, con freccia dell'arco pari allo spessore della muratura, e con la geometria illustrata in fig. 70.

Occorre in generale verificare tre possibili modalità di crisi (fig. 71):

b1a) Trazione nel collegamento tra la parete in esame e la parete ortogonale

$$C \leq \frac{2 \cdot \sigma_t \cdot d \cdot s_0}{s \cdot L \cdot \gamma \cdot (h+d)}$$

in cui i simboli non riportati in figura hanno il significato seguente:

- $s_0$  = spessore della parete ortogonale;
- $\sigma_t$  = tensione di rottura a trazione.
- $p$  = peso specifico delle murature

Questo tipo di rottura risulta potenzialmente pericolosa solo in relazione a possibili difetti di ammassamento o a indebolimenti locali, ad esempio dovuti al passaggio di tubazioni di impianti, che possono ridurre sensibilmente la resistenza a trazione del collegamento tra pareti ortogonali.

b1b) Taglio nel collegamento tra la parete in esame e la parete ortogonale

Si assume che non vi sia ammassamento tra le pareti ortogonali, per cui la resistenza a taglio è assicurata unicamente dall'attrito. Si ottiene pertanto:

$$f \geq \frac{4 \cdot s}{L}$$

Tale condizione risulta generalmente soddisfatta se il rapporto  $s/L$  è inferiore a  $1/5 \div 1/6$ , e quindi quasi sempre. Nei casi in cui non fosse soddisfatta le collaborazioni di altri meccanismi resistenti operanti in parallelo renderebbero comunque improbabile un meccanismo di questo tipo.

b1c) Compressione nella parete in esame

Si valuta lo sforzo di compressione nel funzionamento ad arco ipotizzando che lo spessore dell'arco sia  $1/8$  dello spessore della parete. Si ottiene allora:

$$C \leq \frac{2 \cdot d \cdot s \cdot \sigma_k}{\gamma \cdot L^2 \cdot (h+d)}$$

Questo meccanismo, in generale poco probabile, può innescarsi in casi particolari, a causa di indebolimenti locali dovuti alla presenza dei fori di alloggiamento delle travi del solaio e al passaggio di canne fumarie.

b2) meccanismi fuori del piano della parete con funzionamento delle fasce murarie prevalentemente flessionale

b2a) Trazione nel collegamento tra la parete in esame e la parete ortogonale

Il meccanismo è identico al meccanismo b1a, pertanto l'azione per la quale non si manifestano rotture è data da:

$$C \leq \frac{2 \cdot \sigma_t \cdot d \cdot s_0}{s \cdot L \cdot \gamma \cdot (h+d)}$$

Questo tipo di rottura risulta potenzialmente pericolosa solo in relazione a possibili difetti di

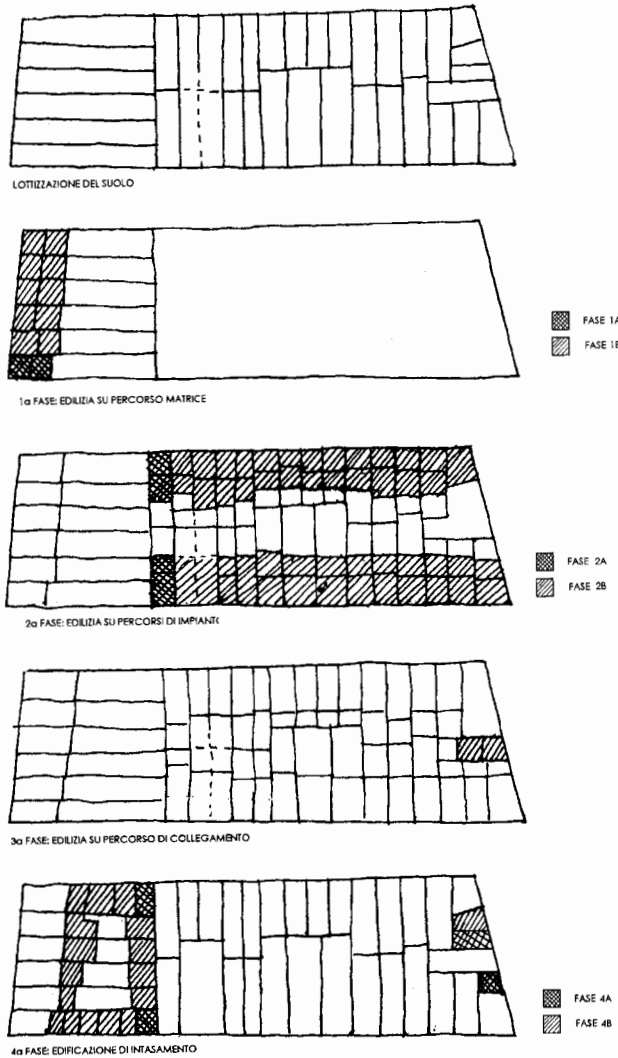


Fig. 67 - Modello teorico delle fasi di formazione di un isolato di case a schiera e datazione relativa delle murature (fonte: elaborazione di M. Zampilli, cit.).

ammorsamento o a indebolimenti locali, ad esempio dovuti al passaggio di tubazioni di impianti, che possono ridurre sensibilmente la resistenza a trazione del collegamento tra pareti ortogonali.

#### b2b) Flessione negli elementi di fascia di collegamento

Si assume il meccanismo di collasso illustrato in fig. 72, nel quale il collasso della fascia muraria si verifica per flessione nelle sezioni di attacco dei maschi murari. Si ottiene:

$$C \leq \frac{32 \cdot d \cdot s \cdot \sigma_t}{3 \cdot h \cdot \gamma \cdot L^2}$$

Riduzioni rispetto alle situazioni tipiche possono verificarsi a causa di indebolimenti locali dovuti,

ad esempio, alla presenza dei fori di alloggiamento delle travi del solaio.

#### b2c) Flessione nella mezzeria della fascia

In alternativa, nei casi in cui si possano avere forti indebolimenti dei maschi murari e delle fasce per la presenza, abbastanza frequente, di canne fumarie nella mezzeria della campata, il collasso può verificarsi secondo lo schema illustrato in fig. 73, nel quale la rottura nella mezzeria avviene per valori di sollecitazione trascurabili

In tal caso si ottiene:

$$C \leq \frac{16 \cdot d \cdot s \cdot \sigma_t}{3 \cdot (2 \cdot h - d) \cdot \gamma \cdot L^2}$$

Questo meccanismo di rottura è legato a valori dell'accelerazione spettrale piuttosto bassi.

#### b3) meccanismi fuori del piano della parete con funzionamento complessivo a mensola per inefficacia degli ammorsamenti tra pareti ortogonali

Questo meccanismo si verifica quando le fasce murarie non sono in grado di funzionare ad arco, per l'assenza di un adeguato contrasto ai bordi, e dunque nel caso di edifici di estremità, e quando gli ammorsamenti non sono tali da garantire loro un corretto funzionamento a trave. Esso può svilupparsi in maniera piuttosto complessa e risulta pertanto difficile valutare con semplici formule l'azione in grado di produrlo. Si ammettono pertanto alcune ipotesi fortemente semplificative. Il meccanismo di collasso, così come ipotizzato, è schematizzato in fig. 74.

In sostanza si assume che le fasce di piano siano ammorsate solamente ad una delle due pareti ortogonali e che nel suo movimento fuori del piano la mensola verticale costituita dai maschi murari allineati lungo la verticale sia contrastata dalle fasce, che a loro volta funzionano a mensola orizzontale incastrata alla parete ortogonale cui sono ammorsate. Riguardo alla resistenza, si ammette che le fasce siano dotate di una resistenza a trazione  $\sigma_t$ , mentre per la mensola verticale, stante la presenza dello sforzo assiale, si assume un comportamento di solido non reagente a trazione. La resistenza complessiva viene valutata esaminando la resistenza a rottura del sistema ipotizzando che il collasso delle fasce murarie e della mensola verticale avven-

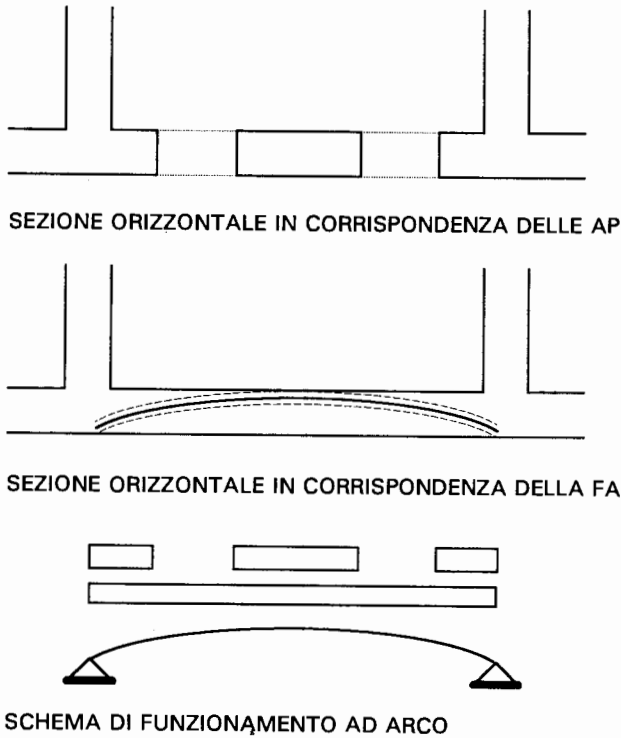


Fig. 68 - Modalità di funzionamento ad arco della fascia muraria.

ga contemporaneamente e trascurando gli effetti del secondo ordine. Si ottiene allora:

$$C \leq \frac{1}{N \cdot h} \cdot \left[ \frac{3}{4} s + (N + 1) \cdot \frac{d \cdot s \cdot \sigma_t}{\gamma \cdot L^2} - \frac{\gamma \cdot s \cdot N \cdot h}{\sigma_k} \right]$$

Per le tipologie prese in esame le formule sopra illustrate hanno fornito i risultati riportati nella tab. 11. Tali risultati evidenziano la scarsa pericolosità di alcuni meccanismi di collasso quali il b1a, il b1c, il b2a e il b2c, la notevole pericolosità di alcuni meccanismi quali il b2c e il b3, e la notevole sensibilità al numero dei piani e la pericolosità per gli edifici alti dei meccanismi a2, a3, b3.

#### 4.3 - VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ

Si assume che le distribuzioni di probabilità di danno condizionate per una data intensità sismica siano modellabili mediante distribuzioni binomiali  $B(n,k,p)$  in cui:

$$B(n,k,p) = \frac{n!}{k!(n-k)!} p^k (1-p)^{(n-k)}$$

con  $0 \leq p \leq 1$ ;

$k, n$  interi e positivi;  $k \leq n$

La distribuzione binomiale, infatti, si adatta molto bene ai dati sperimentali, come è stato ampiamente verificato nei lavori sul danneggiamento prodotto dai terremoti della Campania-Basilicata dell'80 e del Lazio-Abbruzzo dell'84 (BRAGA *et alii*, 1982, BRAGA *et alii*, 1986; II). In generale si assume  $n=5$ , ossia pari al numero di livelli di danno considerati nella scala MSK, in aggiunta al livello 0 di nessun danneggiamento, e pertanto la distribuzione risulta funzione dell'unico parametro  $p$ .

Per calibrare i parametri  $p$  delle distribuzioni di danno per le diverse tipologie e per le diverse intensità sismiche, si opera con la procedura di seguito descritta.

1) Si valuta, per ciascun meccanismo di danneggiamento e collasso l'accelerazione spettrale che ne determina l'attivazione, tenendo conto del numero di piani dell'edificio, secondo le formule riportate nel precedente paragrafo.

2) Si valuta l'accelerazione al suolo corrispondente all'accelerazione spettrale di cui al punto precedente, dividendo l'accelerazione spettrale per i coefficienti amplificativi i cui valori sono riportati nella tab. 12, ed ipotizzando che il periodo degli edifici, tenuto conto delle non linearità che si possono attivare, sia pari a  $0.1N$ , essendo  $N$  il numero totale di piani.

3) Si valuta la probabilità dell'attivazione di ciascun meccanismo per un valore di riferimento del-

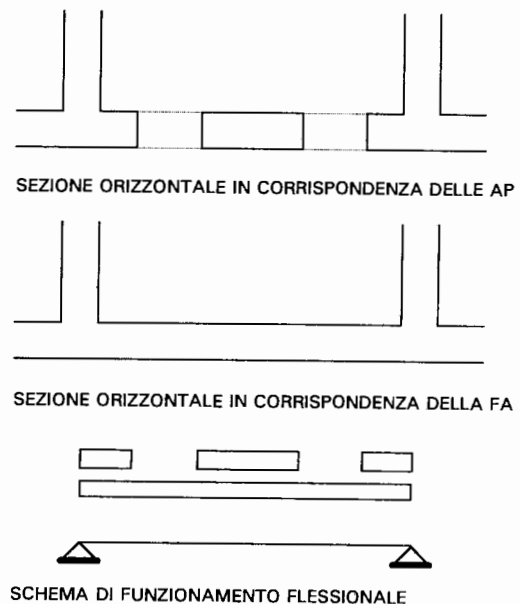


Fig. 69 - Modalità di funzionamento flessionale delle fasce orizzontali.

TAB. 11

TIPOLOGIA	C/a1	C/a2	C/a3	C/b1a	C/b1c	C/b2a	C/b2b	C/b2c	C/b3
A0 - 1-2 piani	0.872	0.436	3.188	0.505	0.992	0.505	0.423	0.118	0.112
A0 - 3-4 piani	0.539	0.269	0.750	0.505	0.992	0.505	0.423	0.118	0.074
A1 - 1-2 piani	0.859	0.430	6.243	0.505	0.992	0.505	0.423	0.118	0.112
A1 - 3-4 piani	0.532	0.266	1.467	0.505	0.992	0.505	0.423	0.118	0.074
A11 - 1-2 piani	0.859	0.430	6.243	0.505	0.992	0.505	0.423	0.118	0.112
A11 - 3-4 piani	0.532	0.266	1.467	0.505	0.992	0.505	0.423	0.118	0.074
A11 - 5-6 piani	0.411	0.206	0.610	0.505	0.992	0.505	0.423	0.118	0.061
A12 - 1-2 piani	0.800	0.400	5.625	0.545	0.826	0.545	0.353	0.098	0.093
A12 - 3-4 piani	0.499	0.249	1.313	0.545	0.826	0.545	0.353	0.098	0.061
A12 - 5-6 piani	0.387	0.194	0.542	0.545	0.826	0.545	0.353	0.098	0.051
A12 - 7-8 piani	0.327	0.163	0.281	0.545	0.826	0.545	0.353	0.098	0.046
A13 - 1-2 piani	0.577	0.289	3.375	0.505	0.992	0.505	0.423	0.118	0.112
A13 - 3-4 piani	0.373	0.186	0.750	0.505	0.992	0.505	0.423	0.118	0.074
A13 - 5-6 piani	0.294	0.147	0.292	0.505	0.992	0.505	0.423	0.118	0.061
A13 - 7-8 piani	0.250	0.125	0.141	0.505	0.992	0.505	0.423	0.118	0.055
A14 - 1-2 piani	0.653	0.327	4.125	0.505	0.992	0.505	0.423	0.118	0.112
A14 - 1-2 piani	0.416	0.208	0.938	0.505	0.992	0.505	0.423	0.118	0.074
A14 - 5-6 piani	0.327	0.163	0.375	0.505	0.992	0.505	0.423	0.118	0.061
A22 - 1-2 piani	0.653	0.327	4.125	0.505	0.992	0.505	0.423	0.118	0.112
A22 - 3-4 piani	0.416	0.208	0.938	0.505	0.992	0.505	0.423	0.118	0.074
A22 - 5-6 piani	0.327	0.163	0.375	0.505	0.992	0.505	0.423	0.118	0.061
B11 - 1-2 piani	0.577	0.289	3.375	0.505	0.992	0.505	0.423	0.118	0.112
B11 - 3-4 piani	0.373	0.186	0.750	0.505	0.992	0.505	0.423	0.118	0.074
B11 - 5-6 piani	0.294	0.147	0.292	0.505	0.992	0.505	0.423	0.118	0.061
B11 - 7-8 piani	0.250	0.125	0.141	0.505	0.992	0.505	0.423	0.118	0.055
B12 - 1-2 piani	0.539	0.269	3.938	0.390	0.771	0.390	0.370	0.103	0.111
B12 - 3-4 piani	0.350	0.175	0.844	0.390	0.771	0.390	0.370	0.103	0.069
B12 - 5-6 piani	0.277	0.138	0.313	0.390	0.771	0.390	0.370	0.103	0.055
B12 - 7-8 piani	0.236	0.118	0.141	0.390	0.771	0.390	0.370	0.103	0.048
B13 - 1-2 piani	0.479	0.239	3.188	0.429	0.933	0.429	0.448	0.124	0.122
B13 - 3-4 piani	0.315	0.157	0.656	0.429	0.933	0.429	0.448	0.124	0.078
B13 - 5-6 piani	0.250	0.125	0.229	0.429	0.933	0.429	0.448	0.124	0.064
B13 - 7-8 piani	0.213	0.107	0.094	0.429	0.933	0.429	0.448	0.124	0.057
B31 - 3-4 piani	0.277	0.138	0.429	0.303	0.511	0.303	0.244	0.074	0.067
B31 - 5-6 piani	0.241	0.120	0.190	0.303	0.511	0.303	0.244	0.074	0.049
B31 - 7-8 piani	0.221	0.111	0.107	0.303	0.511	0.303	0.244	0.074	0.040
B32 - 3-4 piani	0.277	0.138	0.893	0.303	0.511	0.303	0.244	0.074	0.067
B32 - 5-6 piani	0.241	0.120	0.397	0.303	0.511	0.303	0.244	0.074	0.049
B32 - 7-8 piani	0.221	0.111	0.223	0.303	0.511	0.303	0.244	0.074	0.040

l'accelerazione del terreno corrispondente, sulla base di una media delle curve di correlazione disponibili in letteratura (TRIFUNAC & BRADY, 1975; AMBROSEYS, 1974; HERSHBERGER, 1956; GUTEMBERG & RICHTER, 1956; MURPHY & O'BRIEN, 1977) ad un prefissata intensità macrosismica (ad esempio 0.05g, assimilabile all'intensità 6 MSK), assumendo che la legge di distribuzione di probabilità sia gaussiana con coefficiente di variazione pari a 0.4, e valutando la probabilità che l'accelerazione di attivazione del meccanismo sia inferiore all'accelerazione di riferimento.

4) Si valuta la probabilità totale dell'evento «attivazione di un qualsiasi meccanismo», per ciascuna tipologia, per ciascun numero di piani e per ciascun tipo di terremoto, ipotizzando che l'attivazione dei

TAB. 12 - *Coeff. ampl. spettro*

1-2 piani	3-4 piani	5-6 piani	7-8 piani
2.0	2.5	2.5	2.0

diversi meccanismi di collasso siano eventi mutuamente esclusivi e eventi indipendenti.

5) Equiparando la probabilità valutata al punto 4 alla probabilità che il livello di danno, riferito alla scala MSK, sia almeno pari a 2, e nell'ipotesi di matrici di probabilità di danno di tipo binomiale, si valuta il parametro p della distribuzione binomiale, per ciascuna tipologia; il valore così ottenuto, e la relativa distribuzione, è direttamente con



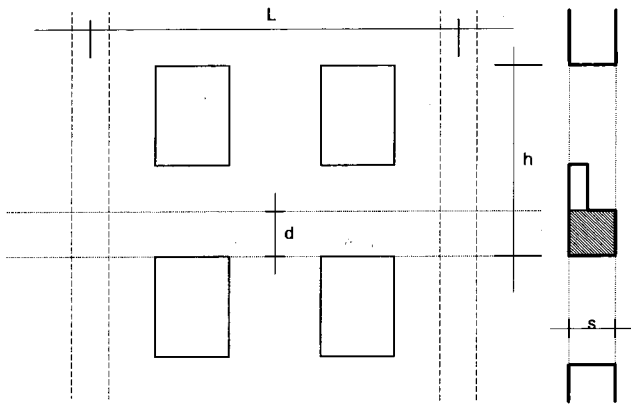


Fig. 70 Geometria della parete tipo.

frontabile con quello ottenuto a partire dai danni riscontrati nei terremoti italiani dell'80 e dell'84.

Per esprimere in formule la procedura precedentemente descritta, si definiscono le seguenti grandezze:

- i = indice del meccanismo di collasso;
- j = indice della tipologia;

$R_N$  = coefficiente di amplificazione spettrale, funzione del periodo proprio, ovvero del numero dei piani N;

$C_{ijN}$  = valore dell'accelerazione spettrale che attiva il meccanismo i-esimo (funzione anche di N) nella tipologia j-esima;

$\alpha_{ijN}$  = valor medio dell'accelerazione al suolo che attiva il meccanismo i-esimo della tipologia j-esima =  $C_{ij}/R_N$ ;

$\delta_{ijN}$  = coefficiente di variazione di  $\alpha_{ijN}$ , che tiene conto sia dell'aleatorietà dei materiali e delle caratteristiche costruttive e meccaniche, che dell'aleatorietà delle caratteristiche geometriche;

$\sigma_{ijN}$  = deviazione standard della accelerazione che attiva il meccanismo di collasso i-esimo della tipologia j-esima =  $\delta_{ijN} \alpha_{ijN}$ ;

$\alpha$  = accelerazione al suolo di riferimento;

$F_{ijN}$  = probabilità dell'evento «attivazione del meccanismo di collasso i-esimo, della tipologia j-esima con numero di piani N, data l'accelerazione di riferimento  $\alpha$ »;

$w_{ij}$  = probabilità che nella tipologia j-esima si abbiano le condizioni per l'attivazione del meccanismo di collasso i-esimo, tra un gruppo di meccanismi mutuamente esclusivi.

Si ottiene:

$$a_{ijN} = \frac{C_{ijN}}{R_N}$$

$F_{ijN} = N_{cum}(a_{ijN}, \sigma_{ijN}, \alpha)$   
 in cui  $N_{cum}$  è la distribuzione normale cumulativa.

Per la valutazione delle probabilità totali di attivazione di un meccanismo di collasso si assumono tra loro indipendenti, nell'ambito di ciascun gruppo, i seguenti meccanismi:

- 1° gruppo: meccanismi  $a_1, a_2, a_3$
- 2° gruppo: meccanismi  $b_{1a}, b_{1c}$
- 3° gruppo: meccanismi  $b_{2a}, b_{2b}, b_{2c}$
- 4° gruppo: meccanismi  $a, b$

mentre si assumono tra loro mutuamente esclusivi, nell'ambito del gruppo, i seguenti meccanismi:

- $b_1, b_2, b_3$

per i quali si assumono le probabilità  $w_{ij}$  specificate nella tab. 13.

TAB. 13

	A0	A1	A11	A12	A13	A14	A22	B11	B12	B13	B31	B32
$b_1$ int.	0.8	0.8	0.6	0.5	0.5	0.5	0.7	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7
$b_1$ estr.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3
$b_2$ int.	0.0	0.0	0.2	0.3	0.3	0.3	0.1	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3
$b_2$ estr.	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
$b_3$ int.	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0
$b_3$ estr.	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0

Per la valutazione della probabilità totale dell'attivazione di meccanismi di collasso indipendenti, data l'accelerazione di riferimento si assume la seguente formula di combinazione:

$$F_{mjN} = \sum_i F_{ijN} - \sum_{i_1 \neq i_2} F_{i_1 jN} \cdot F_{i_2 jN} + \sum_{i_1 \neq i_2 \neq i_3} F_{i_1 jN} \cdot F_{i_2 jN} \cdot F_{i_3 jN} - \dots$$

Per la valutazione della probabilità totale  $F_{njN}$  dell'attivazione di meccanismi mutuamente esclusivi, data l'accelerazione di riferimento, si assume la seguente formula di combinazione (teorema delle probabilità totali):

$$F_{njN} = \sum_i w_{ij} F_{ijN}$$

Dalla combinazione successiva delle probabilità relative ai diversi meccanismi si giunge alla valutazione della probabilità totale di  $F_{jN}$  di attivazione dei meccanismi presi in esame per ciascuna tipologia ed una data accelerazione di riferimento  $\alpha$ .

Noto  $F_{jN}$  si può definire il valore del parametro  $p$  della distribuzione binomiale del danno  $B(5,k,p)$ ; assumendo che l'evento a cui corrisponde la probabilità  $F_{jN}$  sia il verificarsi di un livello di danno almeno pari a 2, e denominando con  $B_{cum}$  la distribuzione cumulativa binomiale, si ha:

$$F_{jN} = 1 - B_{cum}(5, 2, p_{jN})$$

dalla quale si ricava il valore di  $p_{jN}$ .

Risulta, pertanto, completamente definita la matrice di probabilità di danno per ciascuna tipologia  $j$ , con numero piani  $N$ , per il terremoto che ha accelerazione di picco  $\alpha$ .

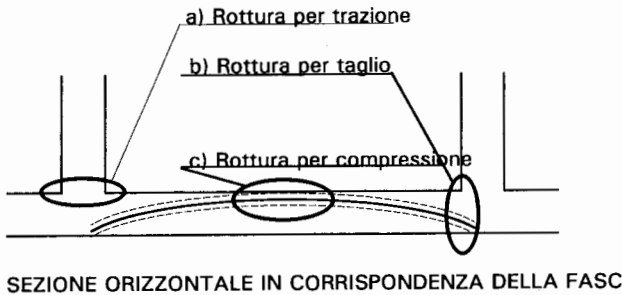


Fig. 71 - Modalità di crisi.

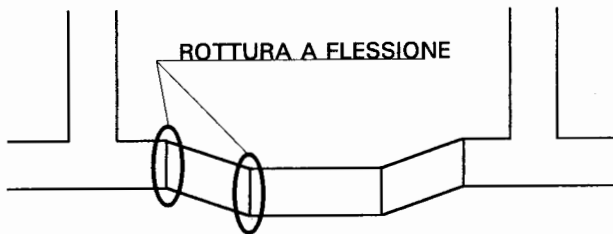


Fig. 72 - Meccanismo di danneggiamento e collasso a flessione.

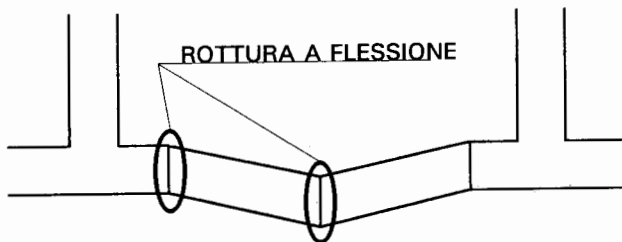


Fig. 73 - Meccanismo di danneggiamento e collasso a flessione.

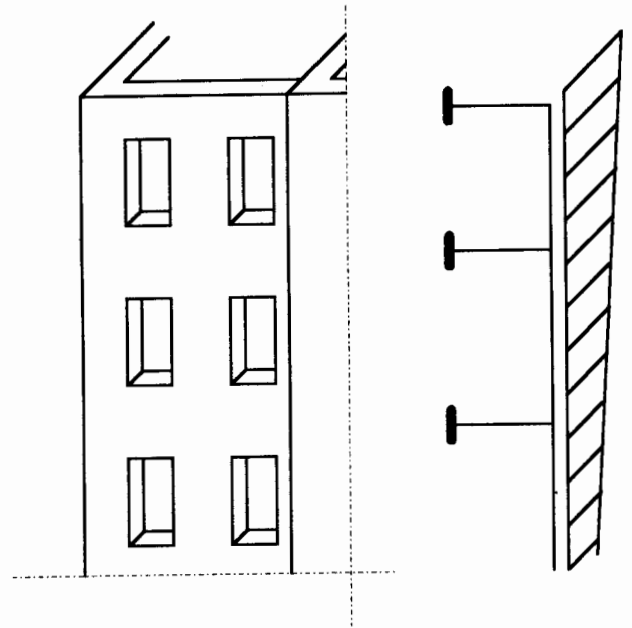


Fig. 74 - Meccanismo di danneggiamento e collasso con funzionamento complessivo a mensola.

La stessa procedura può essere applicata con riferimento ad una accelerazione spettrale di riferimento anziché ad una accelerazione al suolo di riferimento, svincolando così la valutazione della vulnerabilità dal contenuto in frequenze del terremoto.

La rappresentazione grafica della vulnerabilità può essere effettuata riportando sulla mappa del centro storico di Roma i valori del parametro  $p$  di ciascun edificio per un prefissato valore dell'intensità dell'accelerazione spettrale  $S_a$  sul singolo edificio. Tuttavia una rappresentazione affidata ad una carta tematica in cui si definisce la probabilità di un dato livello di danno riferito al singolo edificio, pone particolari problemi di impatto sull'utenza qualora la lettura del dato non sia accompagnata da una approfondita riflessione sul processo metodologico che l'ha prodotto. Ciò è tanto più vero quando, come in questo caso, i risultati sono ricavati da una analisi delle caratteristiche tipologiche e strutturali degli edifici basata non su riscontri diretti e puntuali, ma piuttosto su un'attività interpretativa della realtà del contesto urbano. Si è scelto pertanto di limitarsi a rappresentare i risultati in forma tabellare attraverso l'individuazione delle tipologie edilizie cui associare un certo livello di danno.

Nella tab. 14 sono riportati i valori di  $p$  per le tipologie A1, A2, B1, B3 e per i seguenti valori dell'accelerazione spettrale  $S_a$ : 0.025g, 0.050g,

0.100g. Oltre alla suddivisione basata sulla tipologia e sul numero di piani (riportati nella tav. 2 f.t.), gli edifici sono stati classificati a seconda della loro posizione all'interno degli isolati che è un ulteriore fattore determinante ai fini della valutazione di vulnerabilità. Con le dizioni «intermedio» e «esterno» si intendono rispettivamente una posizione centrale o estrema nel caso di edifici a schiera; con la dizione «blocco» si individuano gli edifici non appartenenti alla categoria delle case a schiera.

Il parametro  $p$  può essere interpretato come il valor medio del danno in una scala di danneggiamento normalizzata a 1, oppure, moltiplicato per  $n = 5$ , il valor medio del danno nella scala M.S.K., il cui range è, come detto, tra 0 e 5. Inoltre è possibile valutare la probabilità di qualsiasi livello di

danno  $k$ , compreso tra  $0 =$  nessun danno e  $5 =$  crollo, semplicemente sostituendo nella espressione della distribuzione binomiale il valore di  $p$ . Ad esempio la probabilità di crollo (livello  $k = 5$ ) di un edificio tipo B1 a blocco di 6 piani per un'accelerazione spettrale  $S_a = 0.10g$  risulta pari a:

$$\frac{5!}{5!0!} (0.346)^5 (1 - 0.346)^{5-5} = 0.00495 \cong 0,5\%$$

## 5. - RISCHIO DI DANNEGGIAMENTO DEGLI EDIFICI

Per una valutazione in termini probabilistici del rischio di danneggiamento o di crollo degli edifici appartenenti alle varie tipologie, si è fatto uso dei risultati relativi all'analisi di vulnerabilità, esposti

TAB. 14

N. piani	Pos. edif.	$\alpha$	TIPOLOGIA			
			A1	A2	B1	B3
1,2	Intermedio	0.025	0.075	0.073	0.077	—
3,4	Intermedio	0.025	0.081	0.081	0.095	0.095
5,6	Intermedio	0.025	0.091	0.089	0.094	0.101
7,8	Intermedio	0.025	0.105	—	0.107	0.108
1,2	Esterno	0.025	0.086	0.084	0.087	—
3,4	Esterno	0.025	0.092	0.090	0.094	0.109
5,6	Esterno	0.025	0.099	0.096	0.102	0.114
7,8	Esterno	0.025	0.112	—	0.115	0.120
1,2	Blocco	0.025	0.081	0.079	0.082	—
3,4	Blocco	0.025	0.086	0.086	0.090	0.102
5,6	Blocco	0.025	0.095	0.093	0.098	0.107
7,8	Blocco	0.025	0.108	—	0.111	0.114
1,2	Intermedio	0.05	0.102	0.095	0.104	—
3,4	Intermedio	0.05	0.121	0.121	0.129	0.154
5,6	Intermedio	0.05	0.148	0.145	0.154	0.168
7,8	Intermedio	0.05	0.188	—	0.194	0.190
1,2	Esterno	0.05	0.127	0.121	0.127	—
3,4	Esterno	0.05	0.146	0.137	0.149	0.193
5,6	Esterno	0.05	0.168	0.153	0.172	0.206
7,8	Esterno	0.05	0.205	—	0.210	0.224
1,2	Blocco	0.05	0.144	0.108	0.116	—
3,4	Blocco	0.05	0.133	0.129	0.139	0.174
5,6	Blocco	0.05	0.158	0.149	0.163	0.187
7,8	Blocco	0.05	0.196	—	0.202	0.207
1,2	Intermedio	0.10	0.192	0.168	0.191	—
3,4	Intermedio	0.10	0.230	0.232	0.256	0.318
5,6	Intermedio	0.10	0.283	0.276	0.316	0.365
7,8	Intermedio	0.10	0.366	—	0.434	0.436
1,2	Esterno	0.10	0.273	0.247	0.267	—
3,4	Esterno	0.10	0.313	0.287	0.323	0.436
5,5	Esterno	0.10	0.353	0.321	0.375	0.471
7,8	Esterno	0.10	0.429	—	0.479	0.526
1,2	Blocco	0.10	0.232	0.208	0.229	—
3,4	Blocco	0.10	0.272	0.260	0.290	0.377
5,6	Blocco	0.10	0.318	0.299	0.346	0.418
7,8	Blocco	0.10	0.398	—	0.457	0.481

in precedenza, e di quelli relativi alla valutazione della pericolosità sismica, analizzati nel paragrafo 2 di questo capitolo.

Per una valutazione degli effetti di amplificazione del moto del terreno determinati dalle condizioni litologiche locali, è stata utilizzata la carta dei depositi alluvionali recenti del centro storico di Roma (MARRA & ROSA, 1993) riportata in fig. 75. Il limite delle alluvioni recenti è indicato con tratteggio di colore verde mentre in giallo sono indivi-

duati gli edifici su terreno rigido e in rosso quelli su alluvione. Lo spessore medio delle alluvioni è di circa 30-40 m per cui si può fare uso dei valori spettrali relativi alla categoria delle «alluvioni profonde» (spessore  $\geq 20$  m) come discusso nel paragrafo 2 e riportato nella fig. 7 dello stesso paragrafo. Va tuttavia sottolineato che gli edifici ubicati in prossimità del limite delle alluvioni, dove lo spessore si assottiglia, o in corrispondenza delle strette valli evidenziate in fig. 75, possono trovarsi

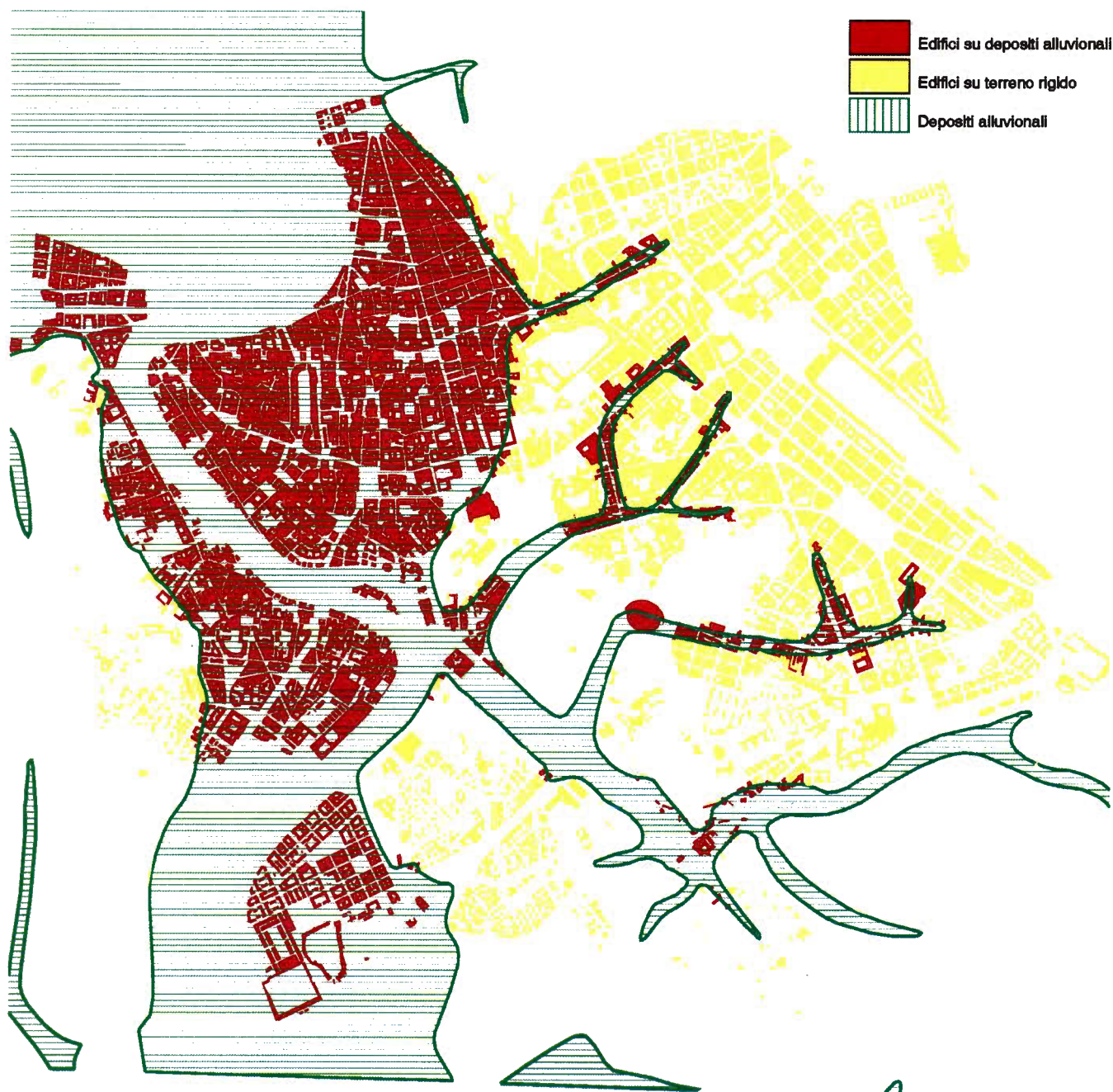


Fig. 75 Distribuzione degli edifici in funzione delle caratteristiche del terreno.

in condizioni di maggior amplificazione locale del moto, in particolare ai bassi periodi. Questo sia perché i depositi alluvionali sottili mostrano maggiori amplificazioni ai bassi periodi (cfr. paragrafo 2), sia perché, come illustrato nel capitolo 7 relativo alla modellazione degli effetti locali, in questi casi si generano effetti particolari di riflessione e rifrazione multipla delle onde sismiche che possono essere valutati solo attraverso una accurata modellazione bidimensionale a livello puntuale.

Nell'approccio adottato si assume l'ipotesi per la quale i terremoti sono governati da un processo Poissoniano caratterizzato da una frequenza annua di arrivo  $\lambda$ . La procedura di analisi è basata sui seguenti punti:

1) selezione di quattro periodi spettrali (0.2, 0.4, 0.6, 0.8, sec.) cui corrispondono approssimativamente edifici di 2, 4, 6 e 8 piani; valutazione, per tali periodi, delle frequenze annue di occorrenza  $\Delta\lambda$  delle diverse accelerazioni spettrali ricavate dai dati riportati in fig. 6;

2) valutazione del parametro  $p(S_a)$  della distribuzione binominale del danno per le accelerazioni spettrali  $S_a$ , a partire dai risultati illustrati nel paragrafo precedente;

3) valutazione della probabilità condizionale che si verifichi un danno grave (livello 4) o il crollo dell'edificio (livello 5), noto  $p$ , per ciascuna delle accelerazioni considerate:

$$P[D > 3 / S_a] = 5p(S_a)^4 (1 - 0.8 p(S_a));$$

4) valutazione della frequenza annua  $\lambda_d$  del danno grave o del crollo come somma del prodotto delle frequenze annue per le relative probabilità di danno grave o crollo per tutte le accelerazioni spettrali considerate;

5) valutazione periodo di osservazione  $\tau$  attraverso la seguente formula:

$$P[D > 3] = 1 - e^{-\lambda_d \tau}$$

I risultati ottenuti per le diverse tipologie e condizioni litologiche locali sono mostrati nelle tabb. 15 e 16, rispettivamente per le frequenze annue e per la probabilità di danno grave o collasso, queste ultime valutate su di un periodo di osservazione  $\tau$  di 100 anni.

L'esame delle tabb. 15 e 16 evidenzia un maggior livello di rischio per gli edifici bassi (2-4 piani) rispetto agli edifici più alti (6-8 piani). Tali differenze risultano particolarmente accentuate, fino ad un ordine di grandezza, nel caso di terreno rigido. Questo risultato appare in netto contrasto con le valutazioni di vulnerabilità, ma è coerente con le valutazioni di peri-

TAB. 15

	TERRENO RIGIDO			ALLUVIONE		
	Intermedio	Blocco	Esterno	Intermedio	Blocco	Esterno
A1 - 2 piani	1.72E-04	2.70E-04	4.06E-04	1.72E-04	2.70E-04	4.06E-04
A1 - 4 piani	4.06E-05	5.64E-05	7.69E-05	7.48E-05	1.08E-04	1.52E-04
A1 - 6 piani	3.37E-05	4.15E-05	5.08E-05	9.07E-05	1.17E-04	1.48E-04
A1 - 8 piani	1.73E-05	1.94E-05	2.18E-05	8.48E-05	1.00E-04	1.18E-04
A2 - 2 piani	1.34E-04	2.15E-04	3.31E-04	1.34E-04	2.15E-04	3.31E-04
A2 - 4 piani	4.06E-05	5.16E-05	6.47E-05	7.53E-05	9.75E-05	1.25E-04
A2 - 6 piani	3.13E-05	3.52E-05	3.95E-05	8.40E-05	9.72E-05	1.12E-04
B1 - 2 piani	1.86E-04	2.78E-04	4.07E-04	1.86E-04	2.78E-04	4.07E-04
B1 - 4 piani	5.10E-05	6.58E-05	8.38E-05	9.58E-05	1.27E-04	1.67E-04
B1 - 6 piani	3.92E-05	4.73E-05	5.67E-05	1.10E-04	1.37E-04	1.70E-04
B1 - 8 piani	1.75E-05	1.98E-05	2.24E-05	1.02E-04	1.18E-04	1.36E-04
B3 - 4 piani	9.12E-05	1.35E-04	1.95E-04	1.78E-04	2.76E-04	4.12E-04
B3 - 6 piani	5.17E-05	7.18E-05	9.78E-05	1.55E-04	2.26E-04	3.21E-04
B3 - 8 piani	1.45E-05	2.07E-05	2.62E-05	8.79E-05	1.32E-04	1.75E-04

TAB. 16

	TERRENO RIGIDO			ALLUVIONE		
	Intermedio	Blocco	Esterno	Intermedio	Blocco	Esterno
A1 - 2 piani	1.70	2.66	3.97	1.70	2.66	3.97
A1 - 4 piani	0.40	0.56	0.76	0.74	1.07	1.50
A1 - 6 piani	0.33	0.41	0.50	0.90	1.15	1.47
A1 - 8 piani	0.17	0.19	0.21	0.84	0.99	1.17
A2 - 2 piani	1.33	2.12	3.25	1.33	2.12	3.25
A2 - 4 piani	0.40	0.51	0.64	0.74	0.97	1.23
A2 - 6 piani	0.31	0.35	0.39	0.83	0.96	1.11
B1 - 2 piani	1.83	2.74	3.98	1.83	2.74	3.98
B1 - 4 piani	0.50	0.65	0.83	0.95	1.26	1.65
B1 - 6 piani	0.39	0.47	0.56	1.09	1.36	1.68
B1 - 8 piani	0.17	0.19	0.22	1.01	1.17	1.35
B3 - 4 piani	0.90	1.34	1.93	1.76	2.72	4.03
B3 - 6 piani	0.51	0.71	0.97	1.53	2.23	3.15
B3 - 8 piani	0.14	0.20	0.26	0.87	1.31	1.73

colosità ed in particolare con le forme degli spettri di risposta di pericolosità ed in particolare con le forme degli spettri di risposta isoprobabili, nei quali i valori massimi si localizzano su periodi intorno ai 0.2 sec. con una rapida riduzione al crescere del periodo. Occorre peraltro sottolineare che tale forma è fortemente influenzata dalle caratteristiche spettrali dei terremoti provenienti dai Colli Albani, a causa della loro elevata frequenza di arrivo.

I risultati ottenuti hanno valore esemplificativo di una metodologia che può fornire utili indicazioni sul rischio sismico per le strutture edilizie del centro storico di Roma. Essi vanno però interpretati correttamente, tenendo ben presente il loro significato probabilistico nonché le modalità e le assunzioni, di necessità approssimate, con cui sono stati ricavati. In particolare le

frequenze e le probabilità di danno grave o collasso riferite alle singole tipologie non possono essere assunte «tout-court» come indicatori del grado di danneggiabilità, o addirittura di fatiscienza, del singolo immobile, essendo quest'ultima condizionata da fattori peculiari che solo in senso statistico sono stati messi in conto nell'analisi di rischio.