



Sismo de L'Aquila - Ensinamentos para Portugal

A MISSÃO DA FEUP/DEC-UA Observações Gerais da Visita

*A. Costa, A. Arêde, H. Varum, J. Guedes, R. Vicente,
X. Romão, A. A. Costa, H. Rodrigues, E. Paupério*



A missão da FEUP/DEC-UA

A missão realizou-se dos dias 28 de Abril a 3 de Maio.

**FEUP: Prof. António Arêde; Prof. João Guedes;
Eng. Xavier Romão; Eng. Alexandre Costa,
Eng^a. Esmeralda Paupério**

**UA: Prof. Aníbal Costa; Prof. Humberto Varum;
Prof. Romeu Vicente; Eng. Hugo Rodrigues**

Objectivos da Missão



Observar e analisar os danos sofridos pelos diferentes tipos de construção, nomeadamente, as estruturas de alvenaria e de betão armado

Observar e analisar os materiais e os métodos de construção locais, comparando-os com a realidade actual em Portugal

Observar a eficiência de reforços efectuados recentemente, analisando o seu desempenho em relação ao esperado

Observar os procedimentos de emergência desenvolvidos na gestão da catástrofe, retirando ensinamentos para Portugal



Organização das Apresentações

Descrição das localidades visitadas e dos danos observados em algumas localidades e construções. Observações sobre a actuação da Protecção Civil na gestão dos efeitos do sismo.

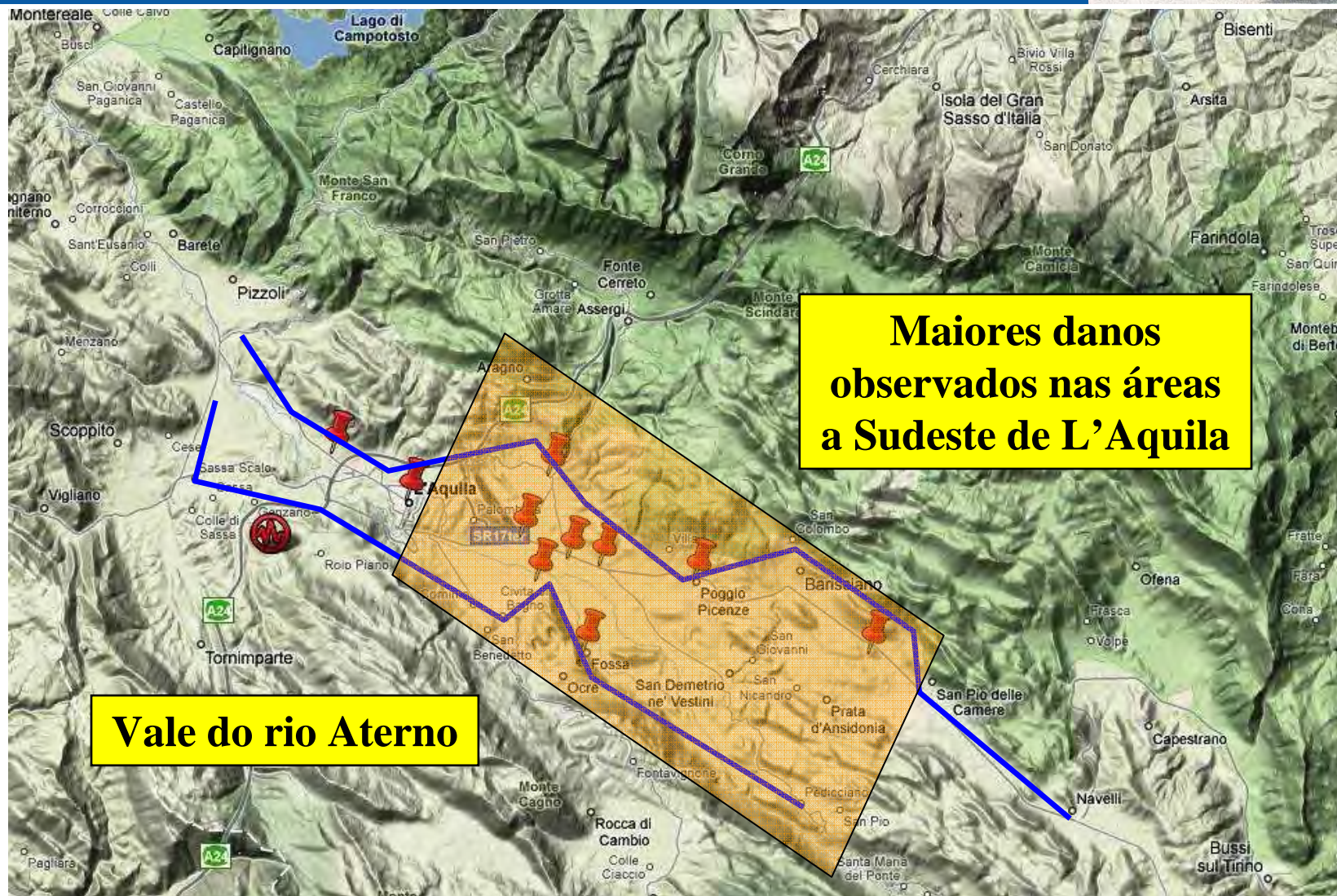
O Comportamento das Estruturas de Alvenaria – Descrição dos danos mais frequentes observados neste tipo de estruturas e potenciais ensinamentos para Portugal.

Danos em Edifícios de Betão Armado – Descrição dos danos mais frequentes observados neste tipo de estruturas e potenciais ensinamentos para Portugal.

Mapa das Zonas Visitadas



Perspectiva Global dos Danos Observados



Vale do rio Aterno

Maiores danos observados nas áreas a Sudeste de L'Aquila



Perspectiva Global dos Danos Observados

Os danos observados variam consoante o local (solo de fundação), o tipo de construção, a sua idade e o seu estado de conservação.

A análise apresentada resulta da visitas a algumas localidades (ou a parte delas) realizadas, nalguns casos, em tempo limitado.



Perspectiva Global dos Danos Observados





Danos Observados em Pettino

(203 mortos em L'Aquila; 0.3% da pop; edifícios evacuados)

Zona suburbana situada a Noroeste de L'Aquila.

Zona essencialmente com edifícios residenciais de betão armado de 3 a 6 pisos construídos durante a década de 1980.



Danos Observados em Pettino

(203 mortos em L'Aquila; 0.3% da pop; edifícios evacuados)



Local escolhido para realizar testes de preenchimento das fichas Italianas de nível 1 para edifícios correntes:

- Efectuados pelo exterior, em garagens e caixas de escadas





Danos Observados em Pettino

(203 mortos em L'Aquila; 0.3% da pop; edifícios evacuados)

Os danos observados após o terremoto (especialmente) mais ligeiros *vezes não* (*fenômenos que observamos não são estruturais*), colapso de elementos não-estruturais (*especialmente nas fachadas*), ...



Perspectiva Global dos Danos Observados





Danos Observados no Centro Histórico de L'Aquila

(203 mortos em L'Aquila; 0.3% da pop.; zona vermelha)

Zona com cerca de 20000 hab. com edifícios na sua maioria em alvenaria de qualidade muito variável, com 2 a 4 pisos.

Muitas construções foram objecto de obras de requalificação/reforço, com qualidade e eficiência muito variáveis.

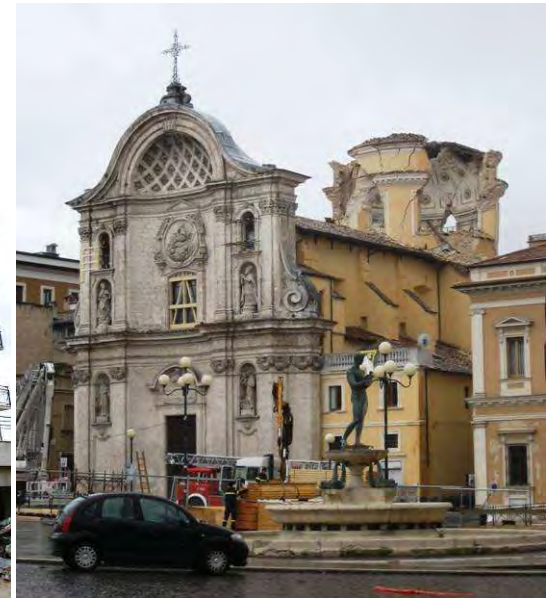
Construções em alvenaria com tirantes metálicos e pavimentos em madeira tiveram, aparentemente, um melhor comportamento.





Danos Observados no Centro Histórico de L'Aquila

(203 mortos em L'Aquila; 0.3% da pop.; zona vermelha)





Danos Observados no Centro Histórico de L'Aquila

(203 mortos em L'Aquila; 0.3% da pop.; zona vermelha)

Os edifícios de betão armado existentes, construídos desde os 1970s até aos 1990s, apresentam danos essencialmente nos painéis de alvenaria, **apesar de também terem ocorrido colapsos** (Hotel Duca degli Abruzzi e a residência estudantil)



Perspectiva Global dos Danos Observados





Danos Observados em Paganica

(4 mortos; 0.6% da pop.; zona vermelha no centro histórico)

O centro histórico é composto quase só por estruturas de alvenaria de qualidade variável, com 2 a 3 pisos. Existem estruturas em betão armado na periferia.

Muitas construções foram objecto de obras de requalificação/reforço. *A qualidade e a eficiência destas são muito variáveis.*





Danos Observados em Paganica

(4 mortos; 0.6% da pop.; zona vermelha no centro histórico)

Casa em alvenaria de tijolo estrutural com revestimento exterior do tipo “cappoto”: **Danos estruturais apenas visíveis pelo interior!**





Danos Observados em Paganica

(4 mortos; 0.6% da pop.; zona vermelha no centro histórico)

Danos **consideráveis** no centro histórico. Alguns danos importantes nas estruturas de betão armado.

Danos **consideráveis** na Igreja fora do centro histórico



Perspectiva Global dos Danos Observados





Danos Observados em Onna

(33 mortos; 9.4% da pop.; localidade declarada zona vermelha)

Uma das localidades mais atingidas. Está fundada em **solos aluvionares calcáreos e em depósitos fluviais granulares**.

É essencialmente constituída por edifícios de alvenaria de pedra de qualidade muito variável, com 2 a 3 pisos, existindo também algumas moradias em betão armado.





Danos Observados em Onna

(33 mortos; 9.4% da pop.; localidade declarada zona vermelha)

Os danos nas construções em alvenaria foram muito extensos com **diversos colapsos completos**.

Os danos nas estruturas de betão armado vão desde os danos ligeiros até casos mais severos de **colapsos parciais**.



Perspectiva Global dos Danos Observados



Danos Observados em Montichio

(0 mortos; danos ligeiros)



Localidade próxima de Onna (<1.5km). Está fundada em solos de calcáreo e brecha.

Tal como Onna, é constituída por edifícios de alvenaria de qualidade variável, com 2 a 3 pisos, existindo também edifícios em betão armado com a mesma tipologia.





Danos Observados em Montichio

(0 mortos; danos ligeiros)

Dadas as condições dos solos de fundação, os fenómenos de amplificação dinâmica que ocorreram em Onna não se verificaram em Montichio, e os danos foram, em geral, baixos.



Perspectiva Global dos Danos Observados





Danos Observados em San Gregorio

(9 mortos; 0.2% da pop.; zona vermelha no centro histórico)

Localidade com níveis de dano muito variáveis consoante o tipo de solo de fundação das várias zonas da localidade.

Tipologia construtiva semelhante à de Onna e Montichio.



Zona Oeste fundada em terrenos calcáreos (danos ligeiros)



Centro histórico fundado em solos aluvionares (danos severos e colapsos, incluindo a Igreja)



Danos Observados em San Gregorio

(9 mortos; 0.2% da pop.; zona vermelha no centro histórico)

Na zona Este existem essencialmente construções em betão armado, estando parcialmente fundada em terrenos calcários e depósitos aluvionares (*danos severos e colapsos*).



Fotos: GEER

Perspectiva Global dos Danos Observados





Danos Observados em Poggio Picenze

(5 mortos; 0.5% da pop.; zona vermelha no centro histórico)

Localidade com níveis de dano variáveis consoante o tipo de solo de fundação das várias zonas e/ou da qualidade das intervenções efectuadas.

Tipologia construtiva semelhante às localidades anteriores.

Das construções em **alvenaria colapsadas, várias possuíam **vigas de coroamento ou pavimentos em betão armado**.**





Danos Observados em Poggio Picenze

(5 mortos; 0.5% da pop.; zona vermelha no centro histórico)

Construção tradicional com tirantes metálicos apresentou um comportamento adequado, observando-se apenas danos ligeiros.





Danos Observados em Poggio Picenze

(5 mortos; 0.5% da pop.; zona vermelha no centro histórico)



Perspectiva Global dos Danos Observados





Danos Observados em Castelnuovo

(0 mortos; zona vermelha na parte mais elevada da localidade)

É constituída, essencialmente, por edifícios de alvenaria com 2 a 3 pisos, em que alguns deles teriam sido reforçados, existindo também algumas construções em betão armado.

Situa-se numa colina e os níveis de dano são variáveis consoante o tipo de solo de fundação das várias zonas.

Na zonas mais baixas existem danos importantes em edifícios de alvenaria e danos menores em estruturas de betão armado





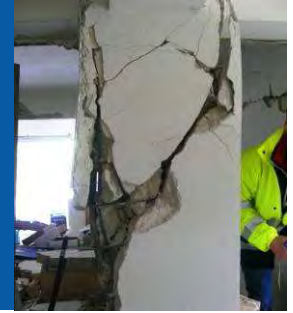
Danos Observados em Castelnuovo

(0 mortos; zona vermelha na parte mais elevada da localidade)

Os **colapsos** situam-se nas zonas mais elevadas e **resultaram** não da acção do sismo principal, mas sim **das réplicas**.



Perspectiva Global dos Danos Observados





Danos Observados em Fossa

(4 mortos; 0.6% da pop.; zona vermelha no centro histórico)

Localidade na encosta da serra Cavalletto. Zona histórica com edifícios de alvenaria com 2 a 3 pisos. Maiores danos em áreas pontuais da zona histórica.

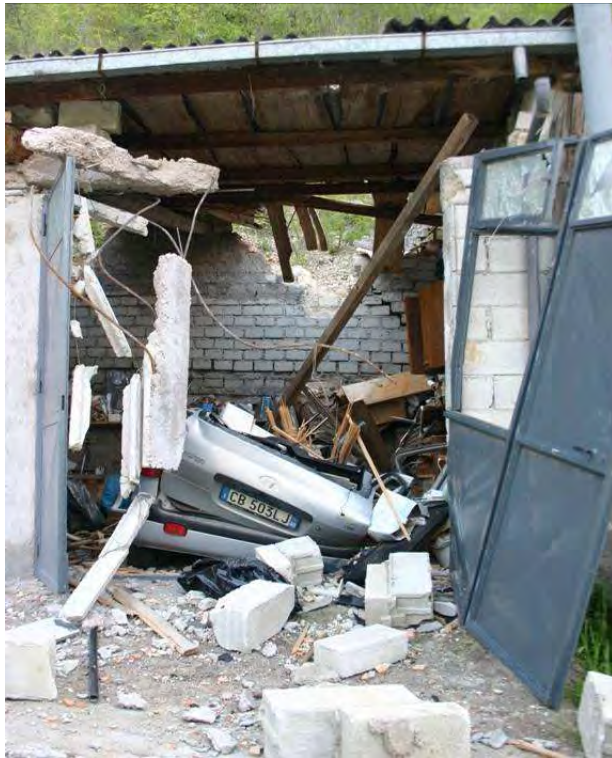
Desmoronamento das encostas com projecção de pedras sobre a localidade.





Danos Observados em Fossa

(4 mortos; 0.6% da pop.; zona vermelha no centro histórico)



Quedas de rochas das encostas adjacentes provocaram danos nas construções e bloquearam estradas.



Danos Observados em Fossa

(4 mortos; 0.6% da pop.; zona vermelha no centro histórico)

Acção de emergência na Igreja de Santa Maria della Cripta (séc. XIII), de grande valor patrimonial, **para salvaguarda dos frescos interiores**, e da torre sineira que colapsou.



Perspectiva Global dos Danos Observados





Danos Observados na Zona Industrial de Bazzano

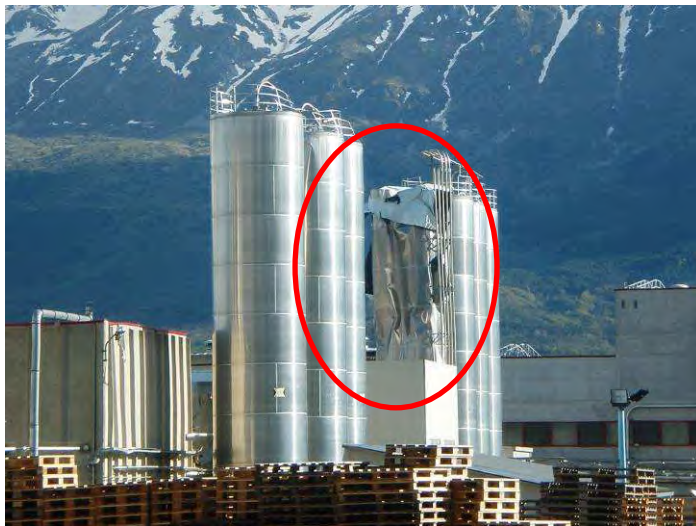
Foram observados **danos importantes** ao nível das **fachadas** de vários armazéns em **betão pré-fabricado**





Danos Observados na Zona Industrial de Bazzano

Foi observado o **colapso de silos metálicos** dum complexo industrial do Grupo Vibac (indústria de películas plásticas)



Gestão da Catástrofe



- **Campos de desalojados**
- **Actuação dos bombeiros**
- **Actuação da polícia e do exército**
- **Inspecções das construções**
 - levantamento de edifícios correntes: *Univ. de Roma*
 - levantamento de bens culturais: *Univs. de Génova, Milão, Pádua e Pavia*



Gestão da Catástrofe

Campos de desalojados

Aparentam estar a funcionar bem: *condições mínimas de conforto e de salubridade; adequada coordenação entre os vários campos ao nível da gestão de bens e de mantimentos.*

A estratégia de envolver a população dos campos na sua gestão e manutenção mantém as pessoas activas e liberta operacionais da Protecção Civil para outras actividades.



Gestão da Catástrofe

Actuação dos bombeiros



Informações da Protecção Civil: *a partir de 8 de Abril foram destacados cerca de 2250 bombeiros para as zonas afectadas.*

Os bombeiros pareceram ser insuficientes face às solicitações:
- acompanhamento de civis às residências; acompanhamento das equipas de inspecção; tarefas nos campos de desalojados; operações de escoramento de emergência.



Gestão da Catástrofe

Actuação da polícia e do exército



Informações da Protecção Civil: *a partir de 8 de Abril foram destacados cerca de 2000 polícias e de 1500 militares.*

Durante a visita, a presença dos militares no terreno passou quase despercebida.

O policiamento das zonas evacuadas aparentou ser eficaz na prevenção de actos de roubo e de vandalismo.





Gestão da Catástrofe

Inspecções das construções

Informações da Protecção Civil: *envolveram ≈ 1500 técnicos/dia em inspecções de edifícios residenciais (24000 até 2 de Maio)*

Cada equipa possui 3 técnicos, 1 bombeiro e 1 técnico do Ministério da Cultura (em edifícios patrimoniais), e proprietário(s).

Trabalhos envolvidos na inspecção das construções

- **Recepção dos edifícios a inspeccionar**
- **Trabalhos de inspecção e preenchimento de fichas**
- **Validação das fichas**
- **Introdução dos dados levantados em formato digital:** *no caso de edifícios patrimoniais compete aos técnicos que efectuaram a inspecção*

Horário médio das 7h00 às 1h00 bastante violento para os técnicos

Gestão da Catástrofe

Inspecções das construções



Preenchimento de fichas – *a experiência da FEUP/DEC-UA*

- A ficha de Nível 1 para Edifícios Correntes revelou-se pouco eficaz (dificuldades na interpretação de alguns campos; fundamental a inspecção pelo interior; conclusões subjectivas em casos que não sejam “quase sem danos” ou “com danos consideráveis”) *Equipas preenchem, em média, ??/dia*
- A ficha de Nível 1 para Palácios é muito morosa e pouco eficaz quando não existe levantamento arquitectónico. *Equipas preenchem, em média, 1/dia*
- A ficha de Nível 1 para Igrejas funciona bem dada a tipologia bem definida destas construções (ex: altar mor, nave,...). *Equipas preenchem, em média, 2/dia*

Gestão da Catástrofe

Ensinamentos para Portugal



Que tipo de **mobilização de técnicos** se pode esperar no caso de ocorrer um **sismo em Portugal**?

Qual a possibilidade de **formar técnicos** credenciados pela **OE** ou outras entidades?

Que **fichas** poderão ser adoptadas para **levantamento de danos**?

Existem **listas** regionais/locais com as **prioridades de intervenção** em património classificado e/ou edifícios institucionais?

Existem **levantamentos arquitectónicos/estruturais** desse património que permitam definir decisões de intervenção?

Gestão da Catástrofe

Ensinamentos para Portugal



As **Universidades Portuguesas** estão conscientes do caminho a percorrer, e estão preparadas e **disponíveis para colaborar** com a ANPC e OE para a definição de **estratégias de gestão de catástrofe**.

A **FEUP/IC e UA** têm desenvolvido trabalho nesta área, ao nível do desenvolvimento de **procedimentos informatizados**, com base em Sistemas de Informação Geográfica, para **levantamento de danos e atribuição de classificações de risco**.





Sismo de L'Aquila - Ensinamentos para Portugal

A MISSÃO DA FEUP/DEC-UA

O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

*A. Costa, A. Arêde, H. Varum, J. Guedes, R. Vicente,
X. Romão, A. A. Costa, H. Rodrigues, E. Paupério*



O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

ÍNDICE

- 1. ENQUADRAMENTO GERAL DOS DANOS OBSERVADOS**
- 2. A ALVENARIA SOB ACÇÕES SÍSMICAS**
- 3. BREVE CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL E TIPOLOGIA CONSTRUTIVA**
- 4. DANOS E COMPORTAMENTO**
- 5. ALGUNS CASOS PARTICULARES**
- 6. AVALIAÇÃO DE ALGUMAS SOLUÇÕES DE REFORÇO ENCONTRADAS**
- 7. OBSERVAÇÕES FINAIS**

INTRODUÇÃO

COMPORTAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS

O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

1. ENQUADRAMENTO GERAL DOS DANOS OBSERVADOS



INTRODUÇÃO

COMPORTAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS

O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

1. ENQUADRAMENTO GERAL DOS DANOS OBSERVADOS



INTRODUÇÃO

COMPORTAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS



O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

1. ENQUADRAMENTO GERAL DOS DANOS OBSERVADOS

- *COLAPSOS ASSOCIADOS MAIORITARIAMENTE A MECANISMOS GLOBAIS*
- *INÚMEROS COLAPSOS PARCIAIS DEVIDO A MOVIMENTOS FORA-DO-PLANO*
- *ALVENARIA DE DIFERENTE FORMA E MATERIAL (SIMPLES, DUAS FOLHAS, REGULAR RESISTENTE, ETC...)*
- *DIFERENTES TÉCNICAS DE REFORÇO OBSERVADAS, NEM SEMPRE EFICAZES*
- *ESTRUTURAS HISTÓRICAS EXIBIRAM ELEVADOS DANOS*

INTRODUÇÃO

COMPORTAMENTO

MATERIAL

DANOS

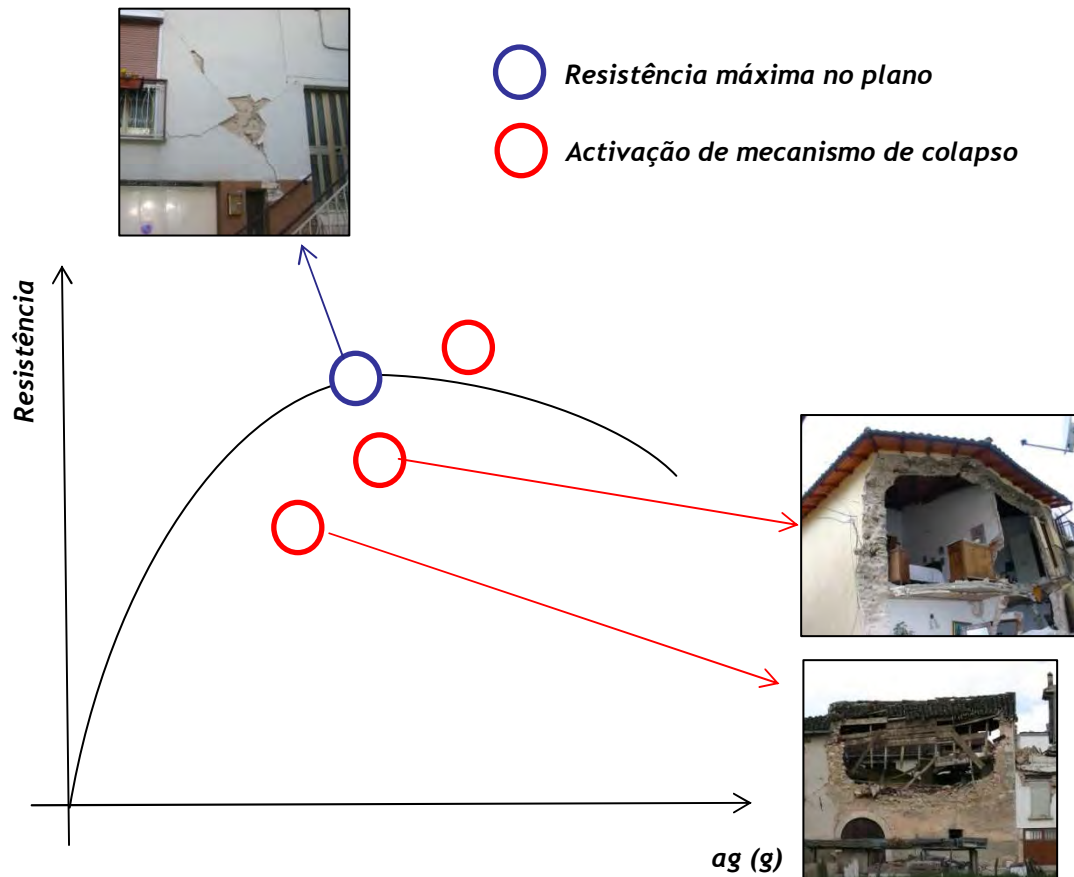
CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS

O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

2. A ALVENARIA SOB ACÇÕES SÍSMICAS



- **DANO NO PLANO INFLUENCIA COMPORTAMENTO FORA DO PLANO**
- **MECANISMOS FORA DO PLANO ACTIVADOS PREVIAMENTE A ATINGIR RESISTÊNCIA MÁXIMA NO PLANO**
- **RESTRICÇÃO DE MECANISMOS FORA DO PLANO ATRAVÉS DE REFORÇO SIMPLES É POSSÍVEL**
- **REFORÇO DE RESISTÊNCIA NO PLANO MAIS COMPLEXA**

INTRODUÇÃO

COMPORTAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS



O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

3. BREVE CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL E TIPOLOGIA

3.1. CONSTITUIÇÃO DA ALVENARIA

- *ALVENARIA MAIORITARIAMENTE DE PEDRA E DE DUAS FOLHAS COM ENCHIMENTO*
- *EDIFÍCIOS HABITACIONAIS: ALVENARIA IRREGULAR (RUMBLE STONE MASONRY)*
- *EDIFÍCIOS HISTÓRICOS: ALVENARIA IRREGULAR E REGULAR*

INTRODUÇÃO

COMPORTAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS



O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

3. BREVE CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL E TIPOLOGIA

3.1. CONSTITUIÇÃO DA ALVENARIA

- *ALVENARIA MAIORITARIAMENTE DE PEDRA E DE DUAS FOLHAS COM ENCHIMENTO*
- *EDIFÍCIOS HABITACIONAIS: ALVENARIA IRREGULAR (RUBBLE STONE MASONRY)*
- *EDIFÍCIOS HISTÓRICOS: ALVENARIA IRREGULAR E REGULAR*
- *ALVENARIA TRADICIONAL DE TIJOLO ENCONTRADA E ASSOCIADA A ELEMENTOS EM ALVENARIA DE PEDRA TRADICIONAL*

INTRODUÇÃO

COMPORTAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS

O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

3. BREVE CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL E TIPOLOGIA

3.1. CONSTITUIÇÃO DA ALVENARIA

- *ALVENARIA MAIORITARIAMENTE DE PEDRA E DE DUAS FOLHAS COM ENCHIMENTO*
- *EDIFÍCIOS HABITACIONAIS: ALVENARIA IRREGULAR (RUBBLE STONE MASONRY)*
- *EDIFÍCIOS HISTÓRICOS: ALVENARIA IRREGULAR E REGULAR*
- *ALVENARIA TRADICIONAL DE TIJOLO ENCONTRADA E ASSOCIADA A ELEMENTOS EM ALVENARIA DE PEDRA TRADICIONAL*
- *COEXISTÊNCIA DE DIFERENTES MATERIAS NA MESMA CONSTRUÇÃO SIGNIFICATIVA*

O GRAU DE COMPLEXIDADE E DIVERSIDADE DE MATERIAIS ENCONTRADOS É MUITO ELEVADO



Onna, 29 Abril 2009

INTRODUÇÃO

COMPORTAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS



O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

3. BREVE CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL E TIPOLOGIA

3.1. CONSTITUIÇÃO DA ALVENARIA

- *ALVENARIA RESISTENTE DE TIJOLO E BLOCOS ENCONTRADA*
- *UTILIZADA EM EDIFÍCIOS HABITACIONAIS UNI/MULTIFAMILIARES DE PEQUENA DIMENSÃO*
- *PROVISIONAMENTO DE DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS RECOMENDADAS NO CÓDIGO ITALIANO ENCONTRADAS EM ALGUNS CASOS*

APRESENTADA PARA CASOS PARTICULARES

INTRODUÇÃO

COMPORTAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS

O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

3. BREVE CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL E TIPOLOGIA

3.2. TIPOLOGIA CONSTRUTIVA

- **PAREDES RESISTENTES EM ALVENARIA TRADICIONAL COM PAVIMENTOS DE MADEIRA**
- **COBERTURAS TÍPICAMENTE EM MADEIRA E COM ESQUEMA ESTRUTURAL NEM SEMPRE ADEQUADO A ACÇÕES SÍSMICAS**
- **ABÓBADAS E ARCOS COMO ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE PISOS INFERIORES (TÉRREOS E ENTERRAMENTOS) EM CONSTRUÇÕES**



Onna, 29 Abril 2009

INTRODUÇÃO

COMPORTEAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS

O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

3. BREVE CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL E TIPOLOGIA

3.2. TIPOLOGIA CONSTRUTIVA



INTRODUÇÃO

COMPORTAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS

O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

3. BREVE CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL E TIPOLOGIA

3.2. TIPOLOGIA CONSTRUTIVA

- *DIFERENTES TEMPOS DE CONSTRUÇÃO E NOVAS TIPOLOGIAS CONSTRUTIVAS ORIGINARAM A INTRODUÇÃO DE ELEMENTOS NÃO TRADICIONAIS NAS CONSTRUÇÕES*



L'Aquila, 30 Abril 2009

INTRODUÇÃO

COMPORTAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS

O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

3. BREVE CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL E TIPOLOGIA

3.2. TIPOLOGIA CONSTRUTIVA

- **DIFERENTES TEMPOS DE CONSTRUÇÃO E NOVAS TIPOLOGIAS CONSTRUTIVAS ORIGINARAM A INTRODUÇÃO DE ELEMENTOS NÃO TRADICIONAIS NAS CONSTRUÇÕES**



Castelnuovo, 2 Maio 2009



Paganica, 30 Abril 2009

INTRODUÇÃO

COMPORTAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS

O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

3. BREVE CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL E TIPOLOGIA

3.2. TIPOLOGIA CONSTRUTIVA

- **DIFERENTES TEMPOS DE CONSTRUÇÃO E NOVAS TIPOLOGIAS CONSTRUTIVAS ORIGINARAM A INTRODUÇÃO DE ELEMENTOS NÃO TRADICIONAIS NAS CONSTRUÇÕES**
- **VIGAS DE COROAMENTO EM BETÃO ARMADO E DE DIMENSÕES SIGNIFICATIVAS**
- **PAVIMENTOS CONSTITUÍDOS POR VIGAMENTOS METÁLICOS COM ABOBADILHAS DE PAVIMENTO PLANAS OU EM ARCO**



Poggio di Roio, 1 Maio 2009



Fossa, 1 Maio 2009



Paganica, 30 Abril 2009

INTRODUÇÃO

COMPORTAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS

O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

3. BREVE CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL E TIPOLOGIA

3.2. TIPOLOGIA CONSTRUTIVA

- *DIFERENTES TEMPOS DE CONSTRUÇÃO E NOVAS TIPOLOGIAS CONSTRUTIVAS ORIGINARAM A INTRODUÇÃO DE ELEMENTOS NÃO TRADICIONAIS NAS CONSTRUÇÕES*
- *VIGAS DE COROAMENTO EM BETÃO ARMADO E DE DIMENSÕES SIGNIFICATIVAS*
- *PAVIMENTOS CONSTITUÍDOS POR VIGAMENTOS*
- *PAVIMENTO PLANAS OU EM ARCO*
- *COBERTURAS SUBSTITUÍDAS POR SOLUÇÕES ALIGEIRADAS DE BETÃO ARMADO COM VIGAS DE BORDADURA*



Castelnuovo, 2 Maio 2009

INTRODUÇÃO

COMPORTAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS

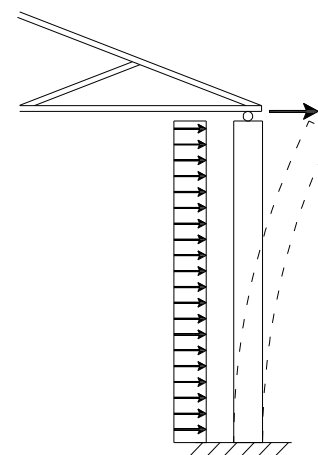
4. DANOS E COMPORTAMENTO OBSERVADO

4.1. FORA-DO-PLANO



TÍPICO COLAPSO FORA-DO-PLANO

- **INSTABILIDADE**
- **EFEITO NEGATIVO DA COBERTURA**



Onna, 29 Abril 2009

4. DANOS E COMPORTAMENTO OBSERVADO

4.1. FORA-DO-PLANO



TÍPICO COLAPSO FORA-DO-PLANO

- **INSTABILIDADE**
- **EFEITO NEGATIVO DA COBERTURA**
- **PAREDES DE RETORNO INSUFICIENTES PARA RESTRINGIR DESLOCAMENTOS**
- **LONGO PANO SEM TRAVAMENTO**

Onna, 29 Abril 2009

O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

4. DANOS E COMPORTAMENTO OBSERVADO

4.1. FORA-DO-PLANO



Onna, 29 Abril 2009

TÍPICO COLAPSO FORA-DO-PLANO

- **INSTABILIDADE**
- **EFEITO NEGATIVO DA COBERTURA**
- **PAREDES DE RETORNO INSUFICIENTES PARA RESTRINGIR DESLOCAMENTOS**
- **LONGO PANO SEM TRAVAMENTO**
- **EXISTÊNCIA DE TIRANTES MAS SEM POSICIONAMENTO EFICAZ**



INTRODUÇÃO

COMPORTAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS

O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

4. DANOS E COMPORTAMENTO OBSERVADO

4.1. FORA-DO-PLANO



FORMAÇÃO DE MECANISMO



FORMAÇÃO DE MECANISMO E COLAPSO PARCIAL



COLAPSO DE MURO SUPORTE

INTRODUÇÃO

COMPORTAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS

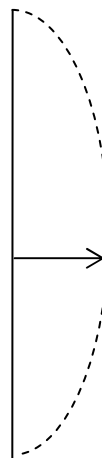
O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

4. DANOS E COMPORTAMENTO OBSERVADO

4.1. FORA-DO-PLANO



COLAPSO PARCIAL POR EFEITO DO TELHADO E FORMAÇÃO DO SEGUNDO MECANISMO DE COLAPSO FORA-DO-PLANO



COLAPSO PARCIAL POR ALTERAÇÃO DA ALTURA DE PAREDE SEM TRAVAMENTO

INTRODUÇÃO

COMPORTAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS

O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

4. DANOS E COMPORTAMENTO OBSERVADO

4.2. EFEITO DO TELHADO

CARGA DA COBERTURA
+
ORIENTAÇÃO
+
EFEITO DE CANTO



ORIENTAÇÃO DAS ÁGUAS NA ORIGEM DO COLAPSO



TIRANTES BEM COLOCADOS E POSICIONADOS

TIRANTES INSUFICIENTES PARA ESTA CARGA

INTRODUÇÃO

COMPORTAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS

O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

4. DANOS E COMPORTAMENTO OBSERVADO

4.3. CUNHAIS



EXISTÊNCIA DE ABERTURAS PRÓXIMAS E AUSÊNCIA DE LIGAÇÃO ENTRE PAREDES POTENCIA O APARECIMENTO DESTE MECANISMO

INTRODUÇÃO

COMPORTAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS

O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

4. DANOS E COMPORTAMENTO OBSERVADO

4.3. CUNHAIS



O PROVISIONAMENTO DE TIRANTES EM DIFERENTES NÍVEIS NA LIGAÇÃO ENTRE PAREDES REVELOU-SE EFICIENTE PARA EVITAR O COLAPSO DE CUNHAIS

INTRODUÇÃO

COMPORTAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS

O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

4. DANOS E COMPORTAMENTO OBSERVADO

4.4. EDIFÍCIOS AGREGADOS



A DIFERENTE ALTURA CONDICIONOU A RESISTÊNCIA DOS EDIFÍCIOS DEVIDO À IMPOSIÇÃO DE UM CAMINHO DE CARGA DIFERENTE DA ORIGINAL

INTRODUÇÃO

COMPORTAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS

O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

4. DANOS E COMPORTAMENTO OBSERVADO

4.4. EDIFÍCIOS AGREGADOS



A DIFERENTE ALTURA CONDICIONOU A RESISTÊNCIA DOS EDIFÍCIOS DEVIDO À IMPOSIÇÃO DE UM CAMINHO DE CARGA DIFERENTE DA ORIGINAL

A ANÁLISE INDIVIDUAL E SIMPLIFICADA DE APENAS UM EDIFÍCIO NÃO É REALISTA!

INTRODUÇÃO

COMPORTAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS

O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

4. DANOS E COMPORTAMENTO OBSERVADO

4.4. EDIFÍCIOS AGREGADOS - POUNDING



DIVERSOS CASOS OBSERVADOS



INTRODUÇÃO

COMPORTAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS

O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

4. DANOS E COMPORTAMENTO OBSERVADO

4.5. DANOS NA ALVENARIA - CORTE DIAGONAL

- **OBSERVADO NA MAIORIA DAS CONSTRUÇÕES EM ALVENARIA DE PEDRA**
- **MECANISMO PREFERENCIAL DE COMPORTAMENTO NO PLANO DOS PAINÉIS**



INTRODUÇÃO

COMPORTAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS

O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

4. DANOS E COMPORTAMENTO OBSERVADO

4.5. DANOS NA ALVENARIA - CORTE DIAGONAL

- **OBSERVADO NA MAIORIA DAS CONSTRUÇÕES EM ALVENARIA DE PEDRA**
- **MECANISMO PREFERENCIAL DE COMPORTAMENTO NO PLANO DOS PAINÉIS**
- **FRACA RESISTÊNCIA AO CORTE DAS ALVENARIAS**
- **ELEVADO ESTADO DE DANO GLOBAL NOS EDIFÍCIOS POR FORMAÇÃO DESTE MECANISMO**
- **POTENCIA FORMAÇÃO DE COLAPSOS LOCAIS DOS CUNHAIS E ABERTURAS**



INTRODUÇÃO

COMPORTAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS

O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

4. DANOS E COMPORTAMENTO OBSERVADO

4.5. DANOS NA ALVENARIA - CORTE DIAGONAL

- OBSERVADO NA MAIORIA DAS CONSTRUÇÕES EM ALVENARIA DE PEDRA
- MECANISMO PREFERENCIAL DE COMPORTAMENTO NO PLANO DOS PAINÉIS
- **FRACA RESISTÊNCIA AO CORTE DAS ALVENARIAS**
- **ELEVADO ESTADO DE DANO GLOBAL NOS EDIFÍCIOS POR FORMAÇÃO DESTES MECANISMOS**
- **POTENCIAL FORMAÇÃO DE COLAPSOS LOCAIS DOS CUNHAIS E ABERTURAS**
- EM ALGUNS CASOS, HETEROGENEIDADE DE MATERIAL AUMENTOU A VULNERABILIDADE PARA ESTE TIPO DE COMPORTAMENTO



INTRODUÇÃO

COMPORTAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS

O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

4. DANOS E COMPORTAMENTO OBSERVADO

4.5. DANOS NA ALVENARIA - CORTE ESCORREGAMENTO

- **OBSERVADO NAS CONSTRUÇÕES DE ALVENARIA REGULAR**
- **FRACA RESISTÊNCIA AO CORTE DAS JUNTAS**
- **ELEVADO ESTADO DE DANO GLOBAL NOS EDIFÍCIOS POR FORMAÇÃO DESTE MECANISMO**
- **POTENCIA FORMAÇÃO DE COLAPSOS LOCAIS DOS CUNHAIS E ABERTURAS**



INTRODUÇÃO

COMPORTAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS

O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

4. DANOS E COMPORTAMENTO OBSERVADO

4.6. DESAGREGAÇÃO DE MATERIAL

PROVOCADOS POR SOLICITAÇÃO FORA DO PLANO EM PAREDES COM INSUFICIENTE LIGAÇÃO ENTRE PANOS

ELEMENTOS NÃO ESTRUTURAIS POTENCIALIZAM A SUA FORMAÇÃO ASSOCIADOS AO DANO NO PLANO DAS PAREDES



INTRODUÇÃO

COMPORTAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS

O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

4. DANOS E COMPORTAMENTO OBSERVADO

4.7. REQUISITOS NOVOS vs. ANTIGO

- **NOTÍCIAS DE QUE REFORÇO SÍSMICO EFICIENTE DA CIDADE TINHA EVITADO A PERDA DO CENTRO HISTÓRICO**
- **TORRE MEDIEVAL COMO ÚNICO COLAPSO**



San Stefano di Sessanio, 2 Maio 2009

INTRODUÇÃO

COMPORTAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS

O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

4. DANOS E COMPORTAMENTO OBSERVADO

4.7. REQUISITOS NOVOS vs. ANTIGO

- NOTÍCIAS DE QUE REFORÇO SÍSMICO EFICIENTE DA CIDADE TINHA EVITADO A PERDA DO CENTRO HISTÓRICO
- TORRE MEDIEVAL COMO ÚNICO COLAPSO

ACÇÃO SÍSMICA VS. ESTRUTURAS...

- COLOCAÇÃO DE UMA LAJE DE BETÃO ARMADO NO TOPO PARA SER POSSÍVEL DESFRUTAR A PAISAGEM OFERECIDA
- GRANDE MASSA COM GRANDE RIGIDEZ NO TOPO DA ESTRUTURA



COLAPSO!



San Stefano di Sessanio, 2 Maio 2009

INTRODUÇÃO

COMPORTAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS

O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

4. DANOS E COMPORTAMENTO OBSERVADO

4.7. REQUISITOS NOVOS vs. ANTIGO

- **COLOCAÇÃO DE GRANDES MASSAS NO TOPO COM ELEVADA RIGIDEZ**
- **INCOMPATIBILIDADE DE SOLUÇÕES ANTIGAS COM SOLUÇÕES NOVAS QUANDO NÃO ADEQUADAMENTE AJUSTADAS**
- **INCOMPATIBILIDADE ENTRE ELEMENTOS ESTRUTURAIS E NÃO ESTRUTURAIS POTENCIA DANOS/COLAPSOS**



INTRODUÇÃO

COMPORTAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS

O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

5. ALGUNS CASOS PARTICULARES

5.1. CASA NOVA EM ALVENARIA RESISTENTE DE TIJOLO, TERAMO



AUSÊNCIA DE DANOS ESTRUTURAIS E NÃO ESTRUTURAIS PELO EXTERIOR

- **ALVENARIA RESISTENTE DE TIJOLO COM ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE ACORDO COM O CÓDIGO ITALIANO OPCM 3274 [2005], NOMEADAMENTE:**
- **PRESENÇA DE VIGAS DE BORDADURA NOS PISOS;**
- **LIGAÇÃO ENTRE PANOS DE PAREDE POR VIGAS DE BETÃO ARMADO E EM VAÕS DE PORTAS.**



INTRODUÇÃO

COMPORTAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS

O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

5. ALGUNS CASOS PARTICULARES

5.1. CASA NOVA EM ALVENARIA RESISTENTE DE TIJOLO, TERAMO

- **DANOS ESTRUTURAIS SIGNIFICATIVOS AO NÍVEL DO R/C**
- **RECOBRIMENTO DAS PAREDES EXTERIORES POR ISOLAMENTO TÉRMICO ESCONDEU OS DANOS ESTRUTURAIS DA ESTRUTURA**
- **CORTE DESLIZAMENTO E CORTE DIAGONAL OBSERVADOS COMO MECANISMOS DE COMPORTAMENTO DOS PAINÉIS**
- **EDIFÍCIO CORTADO PELA BASE DEVIDO A LAJE DE BETÃO NA FUNDAÇÃO.**



**ANÁLISE DO EDIFÍCIO PELO EXTERIOR
INEFICIENTE!**

INTRODUÇÃO

COMPORTAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS

O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

5. ALGUNS CASOS PARTICULARES

5.2. EDIFÍCIO DE CANTO, FOSSA

- **DANOS ESTRUTURAIS MÉDIOS NA FACHADA**
- **DANOS INTERIORES GRAVES**
- **EFICIÊNCIA DE TIRANTES METÁLICOS VERIFICADA**



INTRODUÇÃO

COMPORTAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS

O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

5. ALGUNS CASOS PARTICULARES

5.2. EDIFÍCIO DE CANTO, FOSSA



TIRANTE EFICIENTE MAS NÃO SUFICIENTE!



COMPLEXIDADE DE MATERIAIS E DE GEOMETRIA DO EDIFÍCIO AGRAVAM CONTROLO DO COMPORTAMENTO



ESTADO LIMITE RESISTÊNCIA NÃO FOI SUFICIENTE PARA EVITAR PERDAS HUMANAS!



INTRODUÇÃO

COMPORTAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS

O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

5. ALGUNS CASOS PARTICULARES

5.3. EDIFÍCIO DE CANTO, ONNA

- *ESTRUTURA COMPLEXA E COM DIFERENTES MATERIAIS*
- *COLAPSO PARCIAL DO EDIFÍCIO*
- *ALVENARIA RESISTENTE COM VIGAS DE BORDADURA*
- *LAJE DE COBERTURA EM BETÃO ARMADO*



TORÇÃO COMPLETAMENTE VISÍVEL NO EDIFÍCIO

INTRODUÇÃO

COMPORTEAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS

O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

5. ALGUNS CASOS PARTICULARES

5.3. EDIFÍCIO DE CANTO, ONNA

- **ESTRUTURA COMPLEXA E COM DIFERENTES MATERIAIS**
 - **COLAPSO PARCIAL DO EDIFÍCIO**
 - **ALVENARIA RESISTENTE COM VIGAS DE BORDADURA**
 - **LAJE DE COBERTURA EM BETÃO ARMADO**
- CAUSA PROVÁVEIS:**
- **REDUZIDA RESISTÊNCIA À TRACÇÃO DA ALVENARIA NA LIGAÇÃO ÀS VIGAS DE BORDADURA - CORTE AO NÍVEL DOS PISOS**
 - **MASSA CONCENTRADA NOS PISOS**
 - **EFEITO DA ACÇÃO SÍSMICA HORIZONTAL E VERTICAL**



TORÇÃO COMPLETAMENTE VISÍVEL NO EDIFÍCIO

INTRODUÇÃO

COMPORTAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS

O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

6. AVALIAÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO

6.1. REFORÇOS TRADICIONAIS

CAUSA PROVÁVEL

- **DESADEQUADO PARA A SOLICITAÇÃO PARTICULAR**
- **O ATIRANTAMENTO NÃO ELIMINA O EFEITO DO ARCO NA PAREDE POR ESTAR ACIMA DA ENTREGA E NA PAREDE, NÃO ESTANDO LOCALIZADO NO ARCO**



O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

6. AVALIAÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO

6.1. REFORÇOS TRADICIONAIS

CAUSA PROVÁVEL

- **DESADEQUADO PARA A SOLICITAÇÃO PARTICULAR**
- **O ATIRANTAMENTO NÃO ELIMINA O EFEITO DO ARCO NA PAREDE POR ESTAR ACIMA DA ENTREGA E NA PAREDE, NÃO ESTANDO LOCALIZADO NO ARCO**
- **COLOCAÇÃO DE REFORÇO BASEADA NA CONSTRUÇÃO EM SI E NÃO EM SOLUÇÕES GERAIS**



EM GERAL OS REFORÇOS TRADICIONAIS FORAM BASTANTE EFICIENTES

INTRODUÇÃO

COMPORTAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

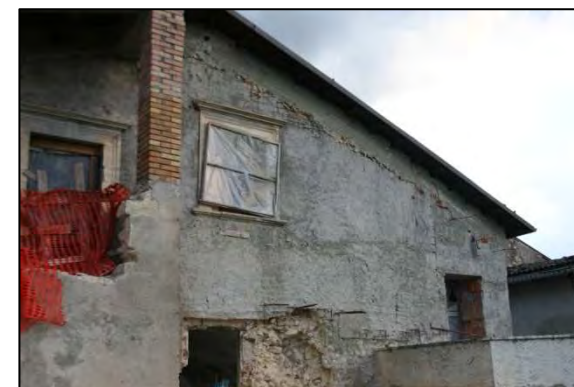
REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS

O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

6. AVALIAÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO

6.2. SOLUÇÕES RECENTES - Reboco armado



Poggio Picenze, 29 Abril 2009



Poggio di Roio, 2 Maio 2009

INTRODUÇÃO

COMPORTAMENTO

MATERIAL

DANOS

CASOS

REFORÇOS

OBSERVAÇÕES
FINAIS



O Comportamento das Estruturas de Alvenaria

7. OBSERVAÇÕES FINAIS

7.1. CONCLUSÕES

- **ELEVADO DANO DAS ESTRUTURAS EM ALVENARIA**
- **INSUFICIENTE RESISTÊNCIA SÍSMICA NO PLANO E FORA DO PLANO**
- **UTILIZAÇÃO DE SOLUÇÕES RECENTES E INTRUSIVAS EM BETÃO ARMADO NÃO BENEFICIARAM A RESISTÊNCIA SÍSMICA DOS EDIFÍCIOS EM ALVENARIA TRADICIONAL**
- **SOLUÇÕES DE REFORÇO TRADICIONAIS (TIRANTES METÁLICOS) EXIBIRAM UM BOM COMPORTAMENTO - SOLUÇÃO POSSÍVEL A UTILIZAR**
- **SOLUÇÕES DE REFORÇO RECENTES EFICIENTES**

7. OBSERVAÇÕES FINAIS

7.2. ENSINAMENTOS E COMENTÁRIOS

- TIPOLOGIA DA ALVENARIA TRADICIONAL DE PEDRA MUITO SEMELHANTE À ALVENARIA TRADICIONAL PORTUGUESA
- UTILIZAÇÃO DE MASSAS LEVA A REFORÇOS SÍSMICOS INEFICIENTES
- COMPORTAMENTO ESPERADO DOS EDIFÍCIOS PORTUGUESES SEMELHANTE À OBSERVADA NA ZONA AFECTADA

NECESSIDADE DE ANÁLISE DE SEGURANÇA E REFORÇO DAS CONSTRUÇÕES

- REFORÇO SÍSMICO vs. REABILITAÇÃO ESTRUTURAL: GARANTIA DE COMPORTAMENTO ATRAVÉS DE SOLUÇÕES INTRUSIVAS DESCARACTERIZANDO O PARQUE HABITACIONAL? **NÃO UTILIZAR SOLUÇÕES FÁCEIS!**
- CORRECTA DISTRIBUIÇÃO DE REFORÇOS TRADICIONAIS (NO PLANO E FORA DO PLANO) + CONTROLO DE DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS

ASSEGURAR RESISTÊNCIA SÍSMICA ADEQUADA?



A MISSÃO DA FEUP/DEC-UA Danos em Edifícios de Betão Armado

*A. Costa, A. Arêde, H. Varum, J. Guedes, R. Vicente,
X. Romão, A.A. Costa, H. Rodrigues, E. Paupério*



Introdução



Aceleração máxima registada

• 0.675g

PGA (m/s ²)	PGA (g)	Distância ao epicentro (km)
6.63	0.675	4.85
5.05	0.515	4.34
4.78	0.487	4.69
3.66	0.373	5.64
1.49	0.152	18.01
0.89	0.091	31.68
0.68	0.069	34.97
0.64	0.066	49.30

Foi referido que na cidade de Pettino, numa estação, registaram-se acelerações superiores a 1g

Introdução



Acção sísmica de projecto:

- após 2003 (OPCM3274) - aceleração média de projecto 0.25g



Aceleração máxima registada

- 0.675g

PGA (m/s ²)	PGA (g)	Distância ao epicentro (km)
6.63	0.675	4.85
5.05	0.515	4.34
4.78	0.487	4.69
3.66	0.373	5.64
1.49	0.152	18.01
0.89	0.091	31.68
0.68	0.069	34.97
0.64	0.066	49.30



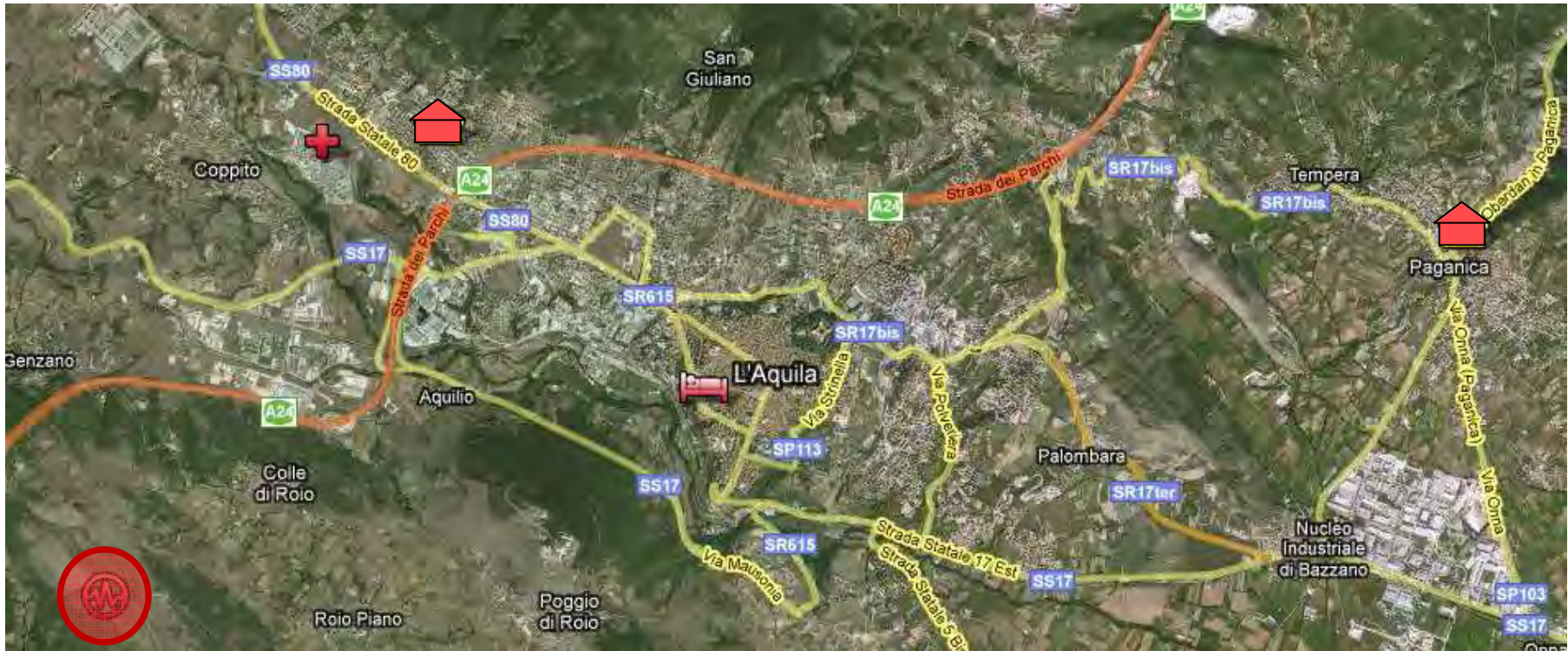
Introdução



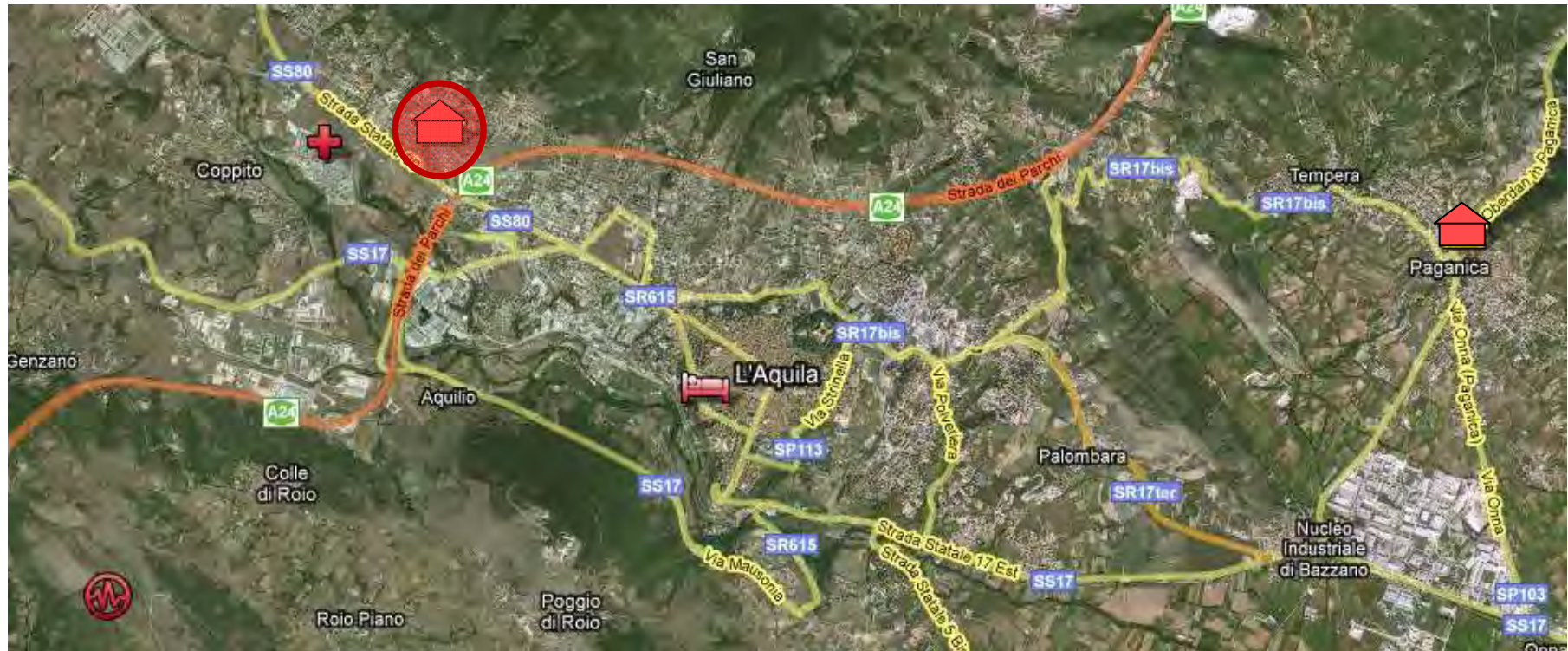
Causas mais frequentes de dano em edifícios de BA

- danos em elementos não estruturais (apoio e ligação dos painéis de alvenaria de enchimento)
- má qualidade dos materiais (betão)
- recobrimento insuficiente
- insuficiente capacidade ao corte de pilares
- deficiente pormenorização de nós viga-pilar
- mecanismo tipo soft-storey

Casos de estudio



Casos de estudio



PET01-02



PET03

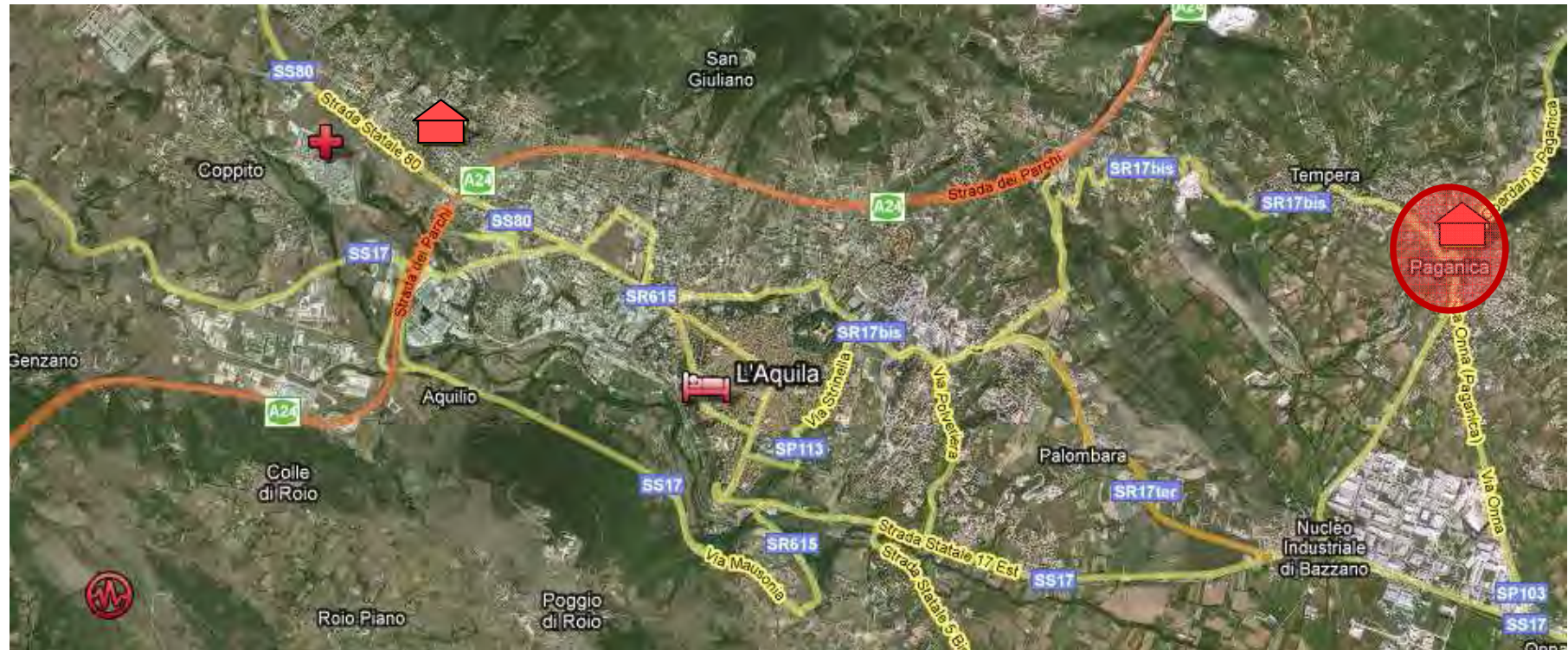


PET04-05-06



PET07

Casos de estudio



PET01-02



PET03



PET04-05-06

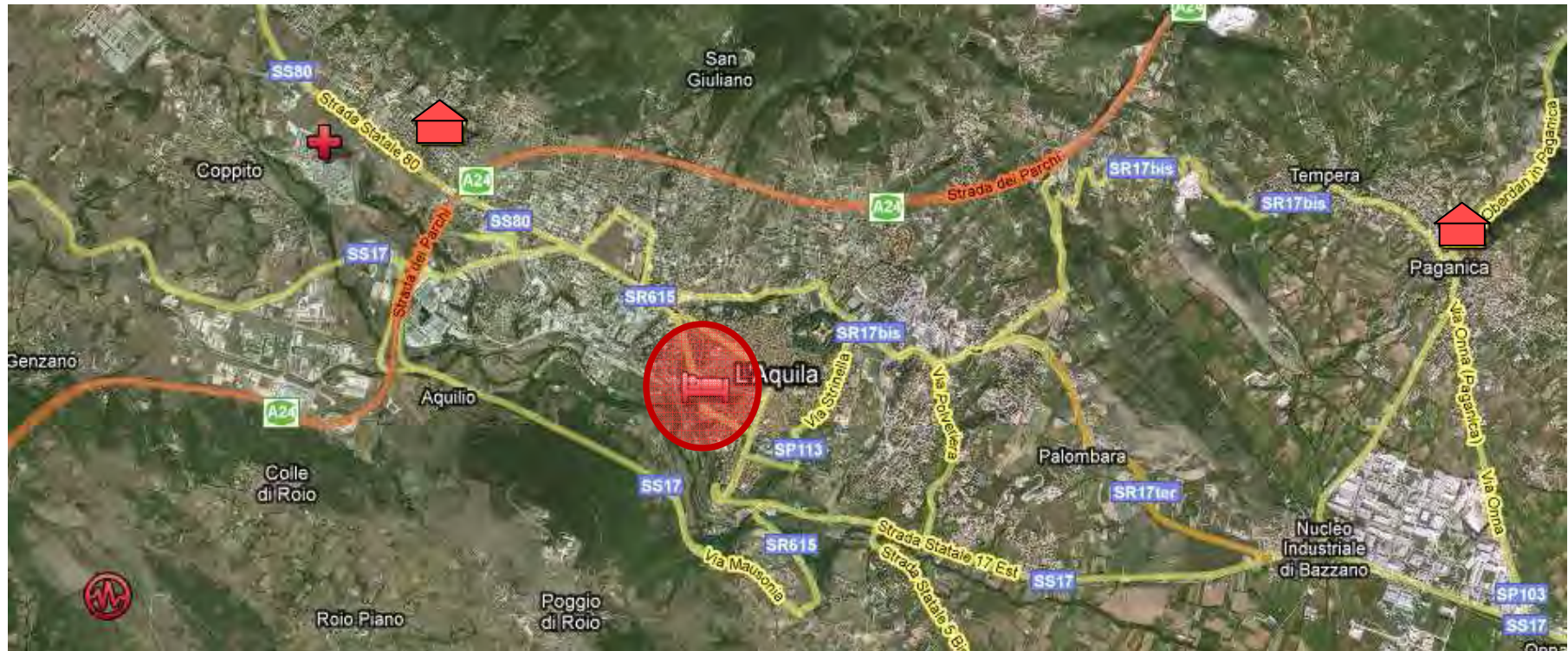


PET07



PAG04

Casos de estudo



PET01-02



PET03



PET04-05-06



PET07

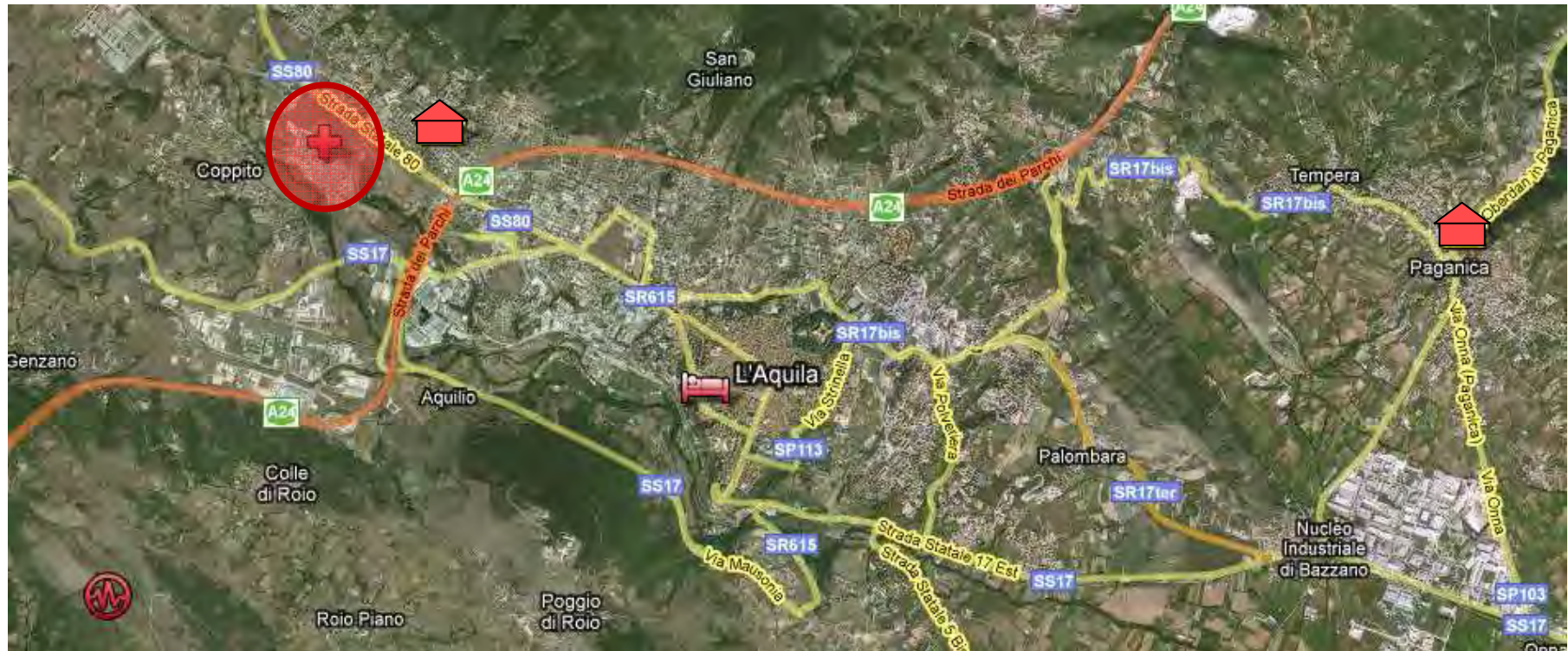


PAG04



Residências

Casos de estudo



PET01-02



PET03



PET04-05-06



PET07



PAG04



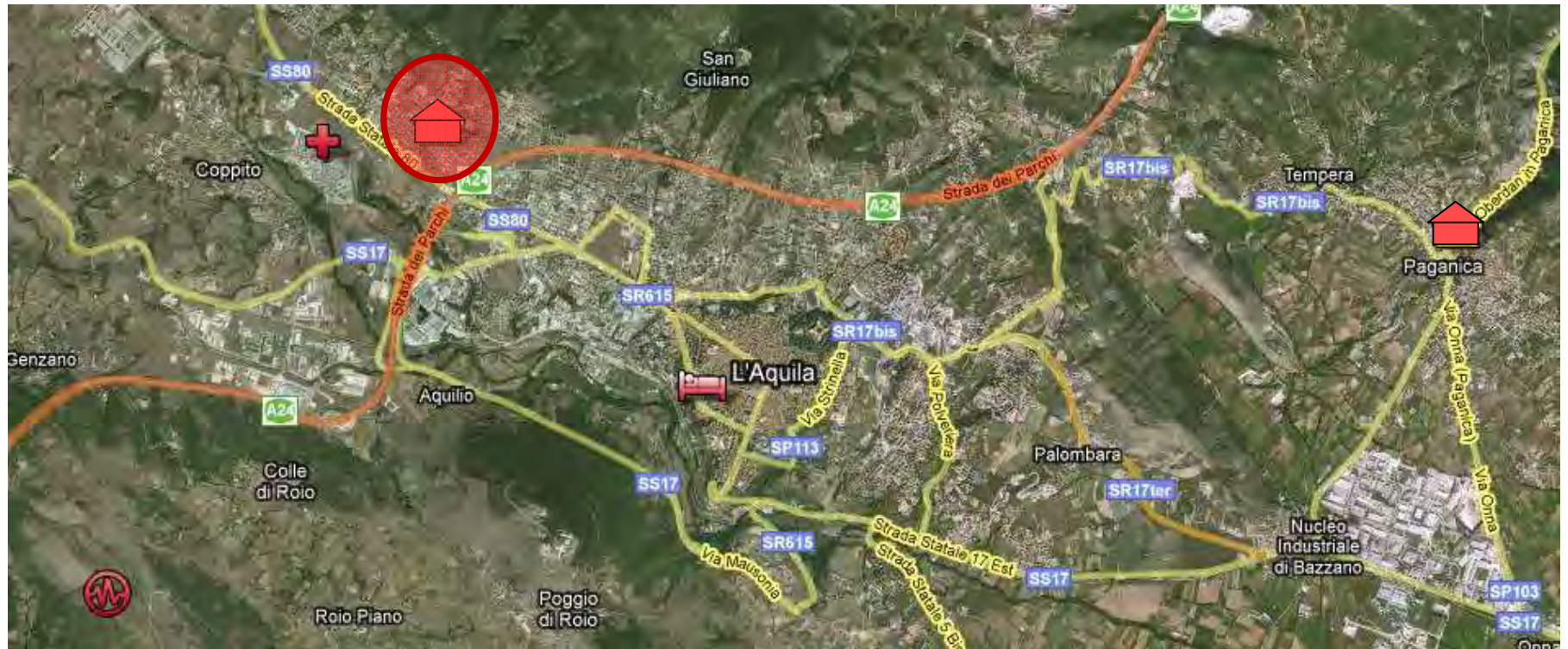
Residências



Hospital



Edifícios PET01-02



PET01-02



PET03



PET04-05-06



PET07



PAG04



Residências



Hospital

Edifícios PET01-02



Dados gerais

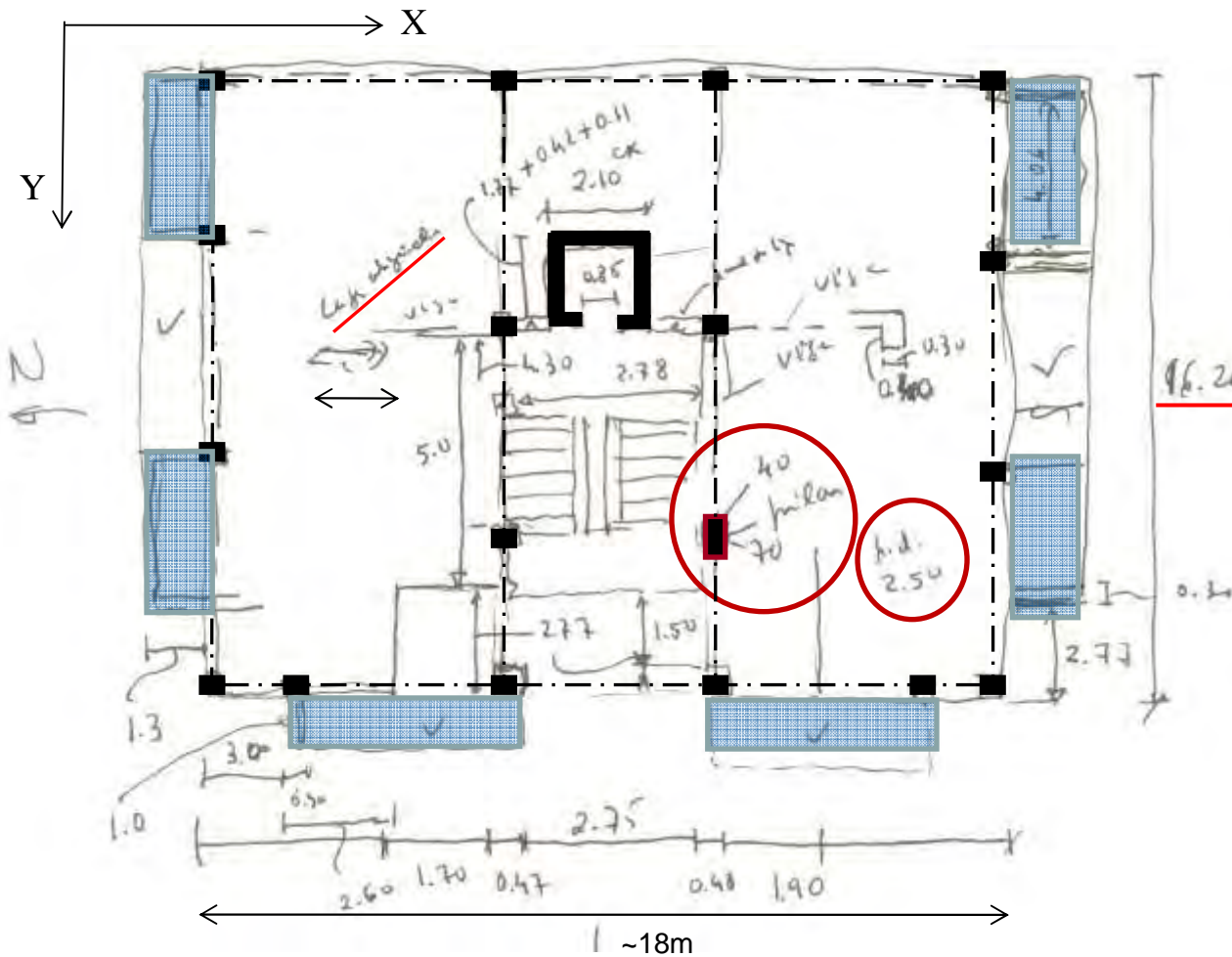
- ano de construção: 2008 (habitabilidade)
- uso residencial
- 10 apartamentos
- isolado
- RC+5 pisos
- sem cave
- pé-direito médio de 2.5m
- estrutura porticada em BA
- com painéis de alvenaria de enchimento
- caixa de elevador em paredes de BA





Edifícios PET01-02

Esquema estrutural (R/C)



- vãos pequenos
- pilares não esbeltos
- excentricidade em planta (direcção X)

Edifícios PET01-02



Danos gerais observados

- rotura no próprio plano de painéis de alvenaria
- destacamento de panos exteriores das paredes de alvenaria da fachada
- separação entre os painéis de alvenaria e a estrutura
- maior nível de dano nos pisos inferiores





Edifícios PET01-02

Danos em painéis exteriores de alvenaria



Causas possíveis: deformação das consolas (avançados); dimensões dos panos de alvenaria; não confinamento dos panos exteriores; com deficiente ligação (à estrutura e ao pano interior)

Edifícios PET01-02



Danos em painéis exteriores de alvenaria – Revestimento das vigas



Causas possíveis: existência de apenas uma forra (espessura reduzida) de revestimento das vigas, com colagem deficiente



Edifícios PET01-02

Danos em painéis exteriores de alvenaria – Apoio insuficiente dos panos de alvenaria

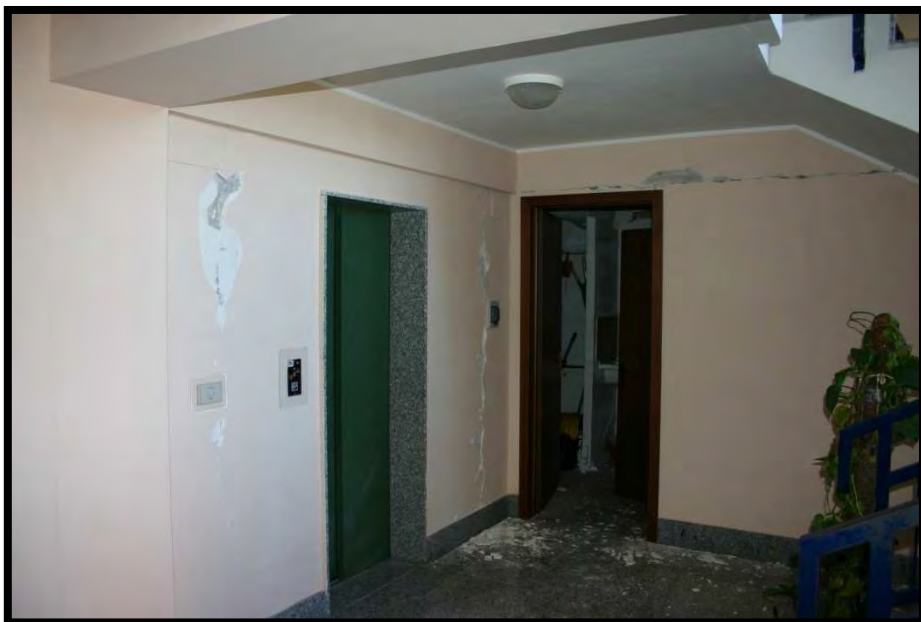


Causas possíveis: Ligação deficiente dos elementos ao pano interior e aos elementos estruturais.
Pano exterior apoiado nas vigas em menos de metade da sua espessura

Edifícios PET01-02



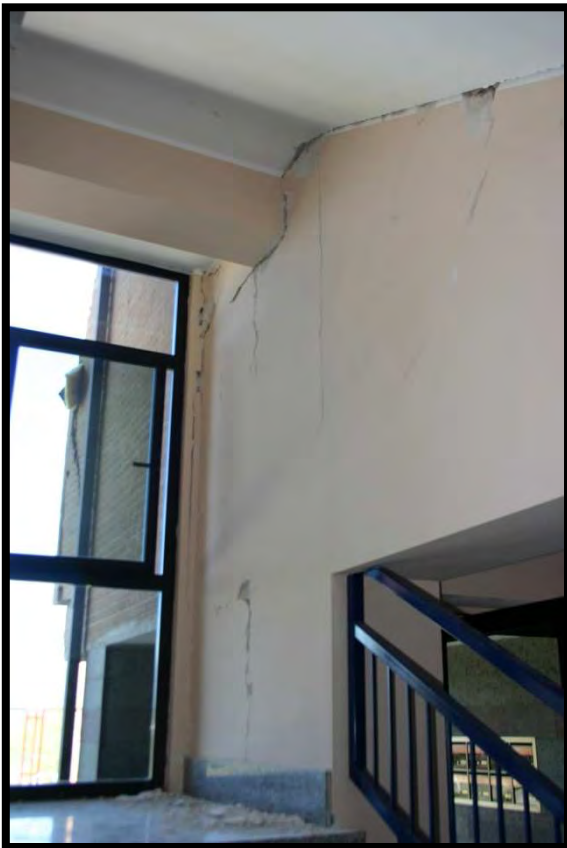
Danos no interior do edifício - separação entre os painéis de alvenaria e a estrutura principal (pilares, vigas, paredes resistentes)





Edifícios PET01-02

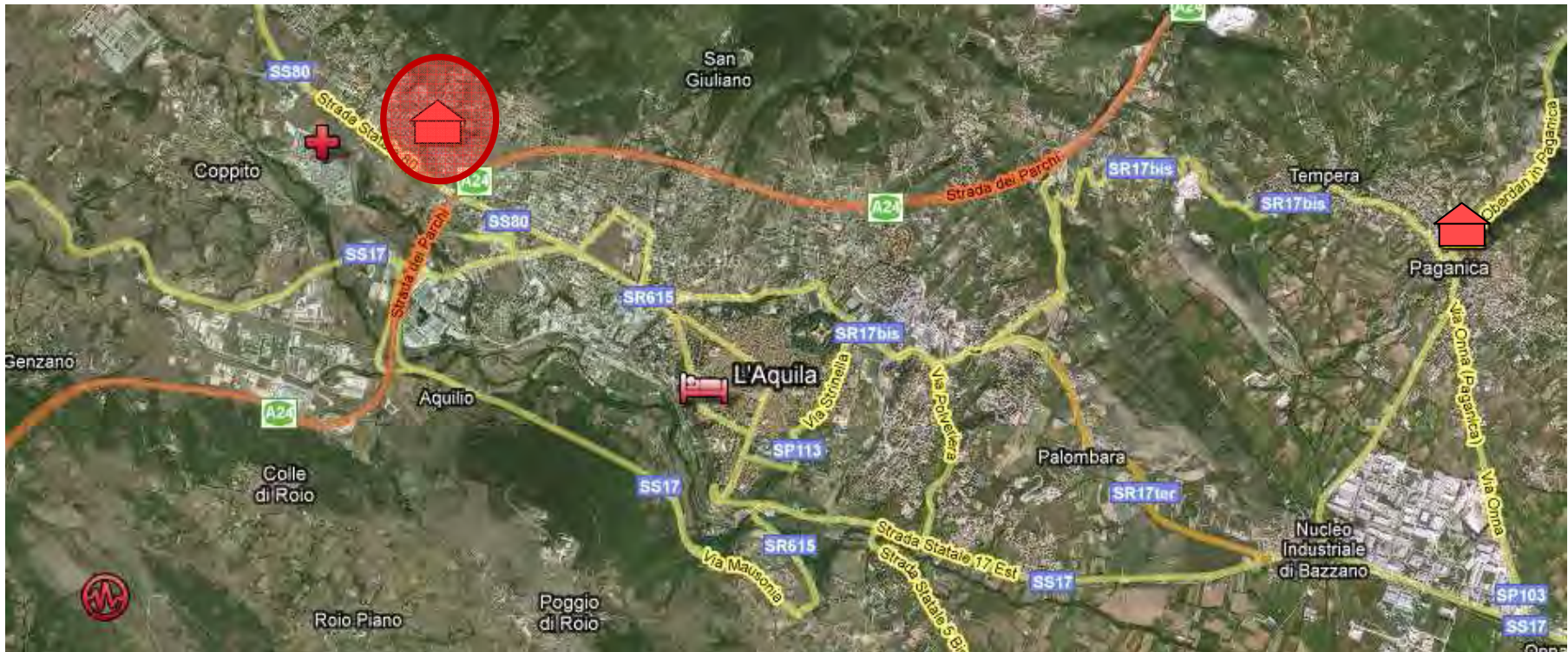
Danos no interior do edifício



Danos nas extremidades das vigas de apoio do patamar intermédio das escadas (entre-pisos), sobretudo nos pisos inferiores

Causas possíveis: não dimensionamento específico destes elementos estruturais secundários, ou não consideração no cálculo global

Edifícios – PET03



PET01-02



PET03



PET04-05-06



PET07



PAG04



Residências



Hospital



Edifícios – PET03

Dados gerais

- ano de construção: anterior a 2005
- uso residencial
- isolado
- RC+5 pisos
- sem cave
- estrutura porticada em BA
- com painéis de alvenaria de enchimento
- redução das dimensões dos pilares (de fachada) em altura
 - 1º piso 70x30 cm
 - 2º piso 60x30 cm
 - Vigas 30x70 cm

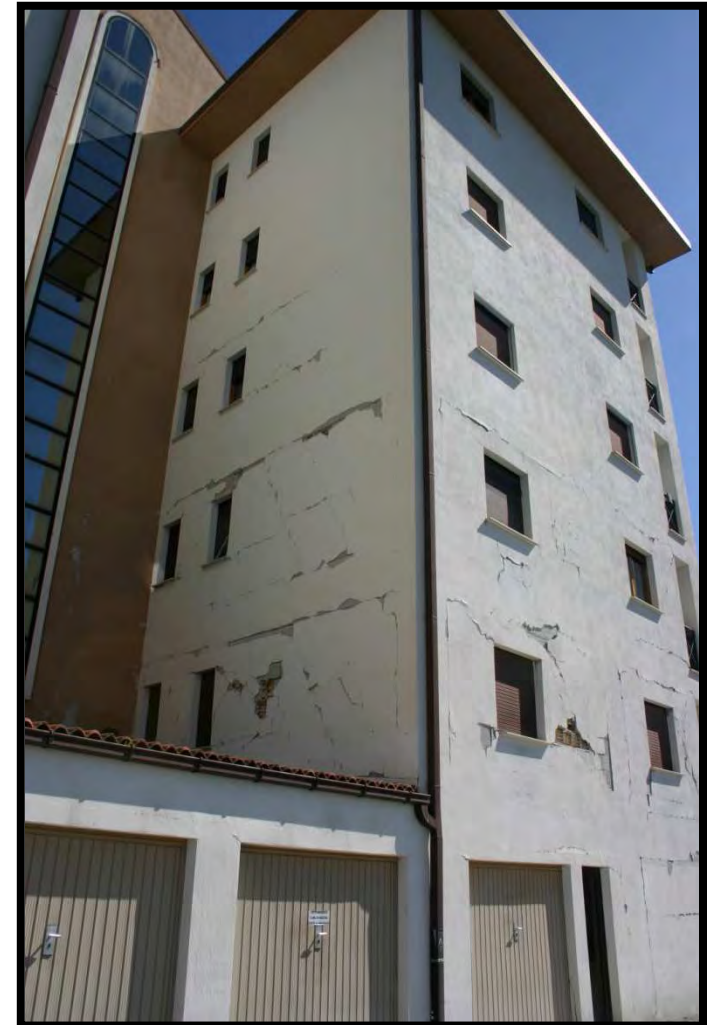


Edifícios – PET03



Danos observados

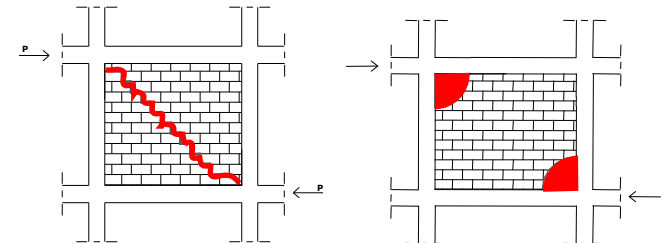
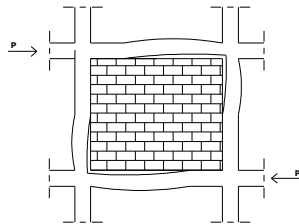
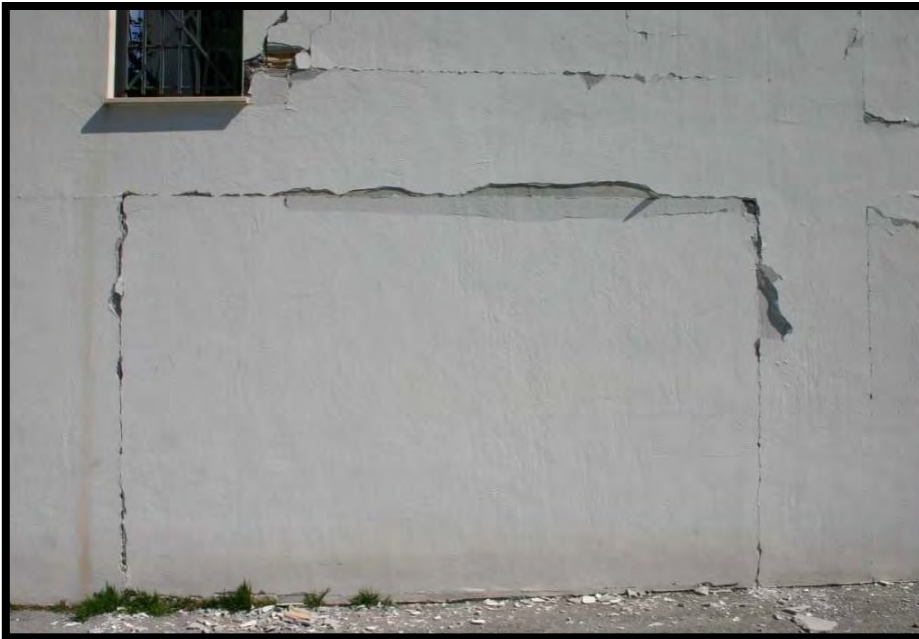
- sem danos nos elementos estruturais
- separação dos painéis de alvenaria em relação à estrutura principal
- fissuração de alguns painéis de alvenaria
- elementos não estruturais com dano generalizado até ao segundo piso (R/C, 1º e 2º)





Edifícios – PET03

Danos no exterior do edifício - danos típicos dos painéis de alvenaria no próprio plano (separação; fendas diagonais)



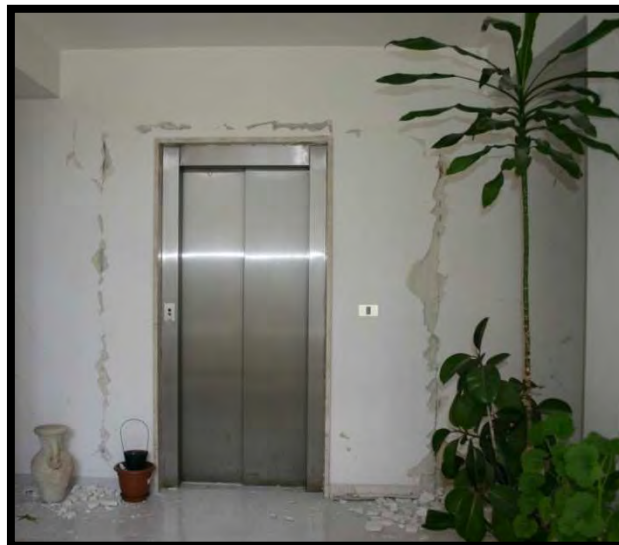
Edifícios – PET03



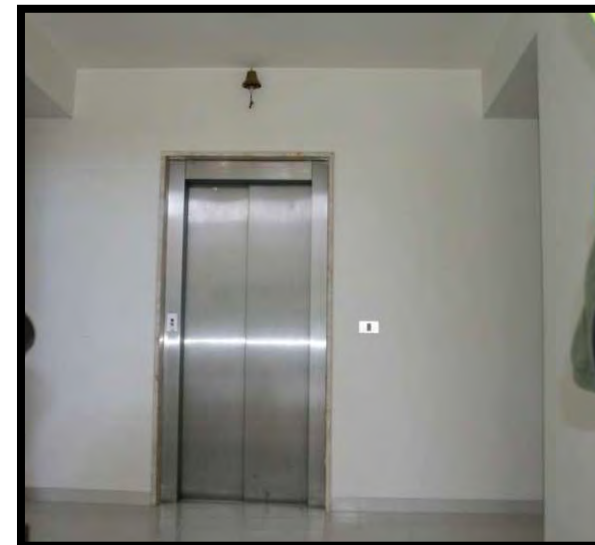
Danos no interior do edifício – redução do dano em altura, associado à redução das exigências



R/C



1º piso



2º piso

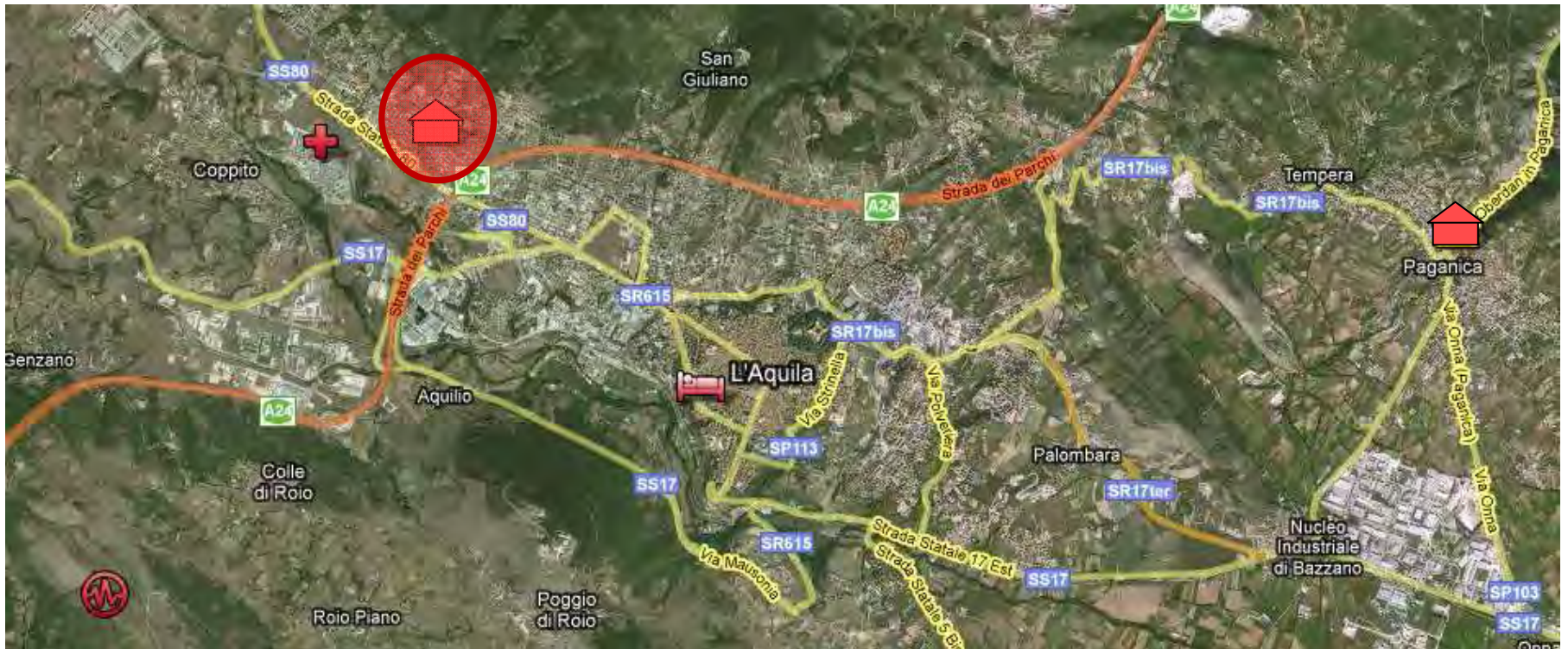


Edifícios – PET03

Danos no interior do edifício – movimento de painéis de parede para fora do plano



Edifícios – PET04-05-06



PET01-02



PET03



PET04-05-06



PET07



PAG04



Residências



Hospital



Edifícios – PET04-05

Dados gerais

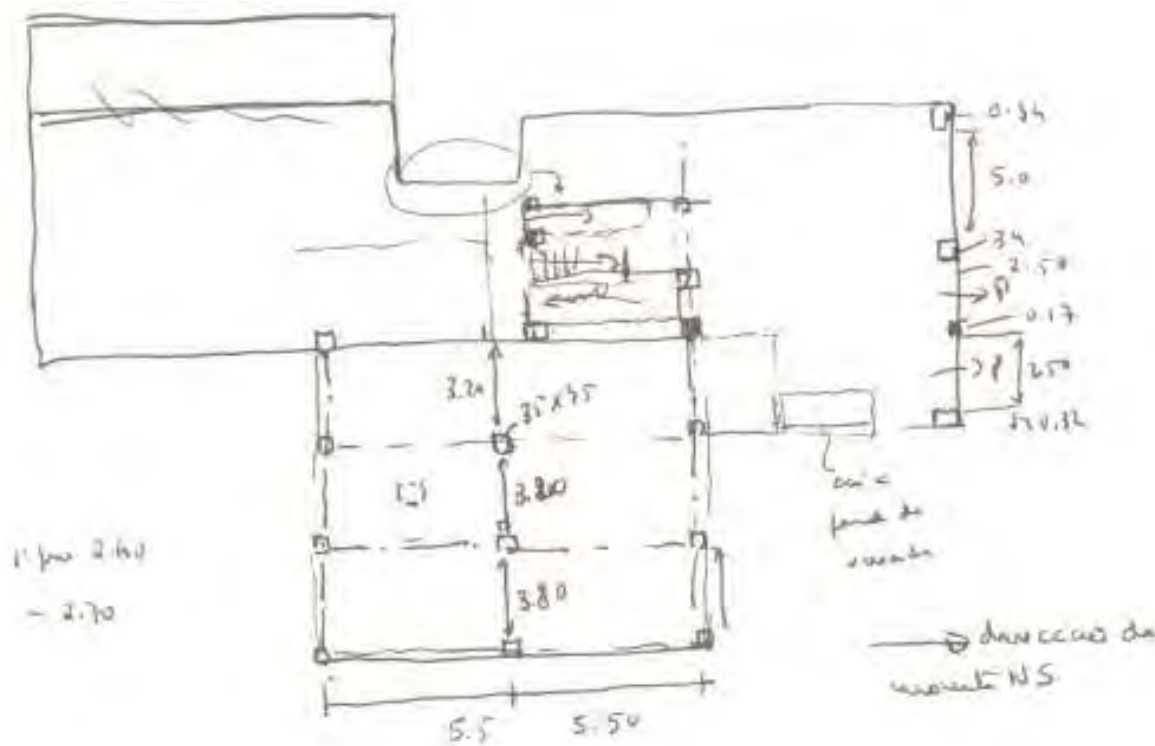
- ano de construção: 1982/83
- uso residencial
- isolado
- RC+2 ou 3 pisos
- sem cave
- pé-direito: 2.4m (R\C); 2.7m (restantes)
- estrutura porticada em BA
- com painéis de alvenaria de enchimento



Edifícios – PET04-05



Esquema estrutural (R/C)



- R/C com utilização de garagens
- Pronunciadamente irregular (rigidez e resistência) em planta e em altura

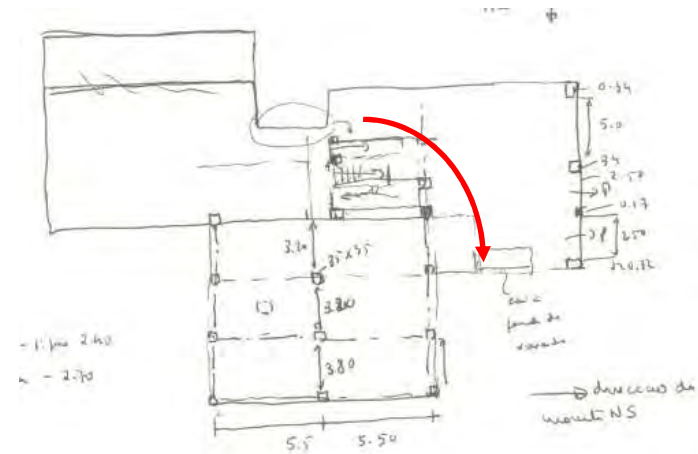
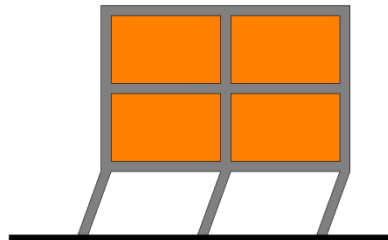


Edifícios – PET04-05

Danos observados

- mecanismo de colapso *soft-storey*

Causas possíveis: irregularidade em altura (R/C vazado - garagens); irregularidade em planta (torção); nós pilar-viga com deficiências de execução; pormenorização deficiente dos nós; ausência de estribos



Edifícios – PET04-05



Mecanismo de colapso *soft-storey* - Ausência de painéis de alvenaria no RC, induzem uma variação de rigidez e resistência em altura significativa, criando um “piso fraco”





Edifícios – PET04-05

Mecanismo de colapso *soft-storey* – deficiências nos nós vigas-pilar (ausência de cintas/estribos; emendas de armadura dos pilares nos nós; amarração insuficiente)



Edifícios – PET06



Danos em painéis exteriores de alvenaria



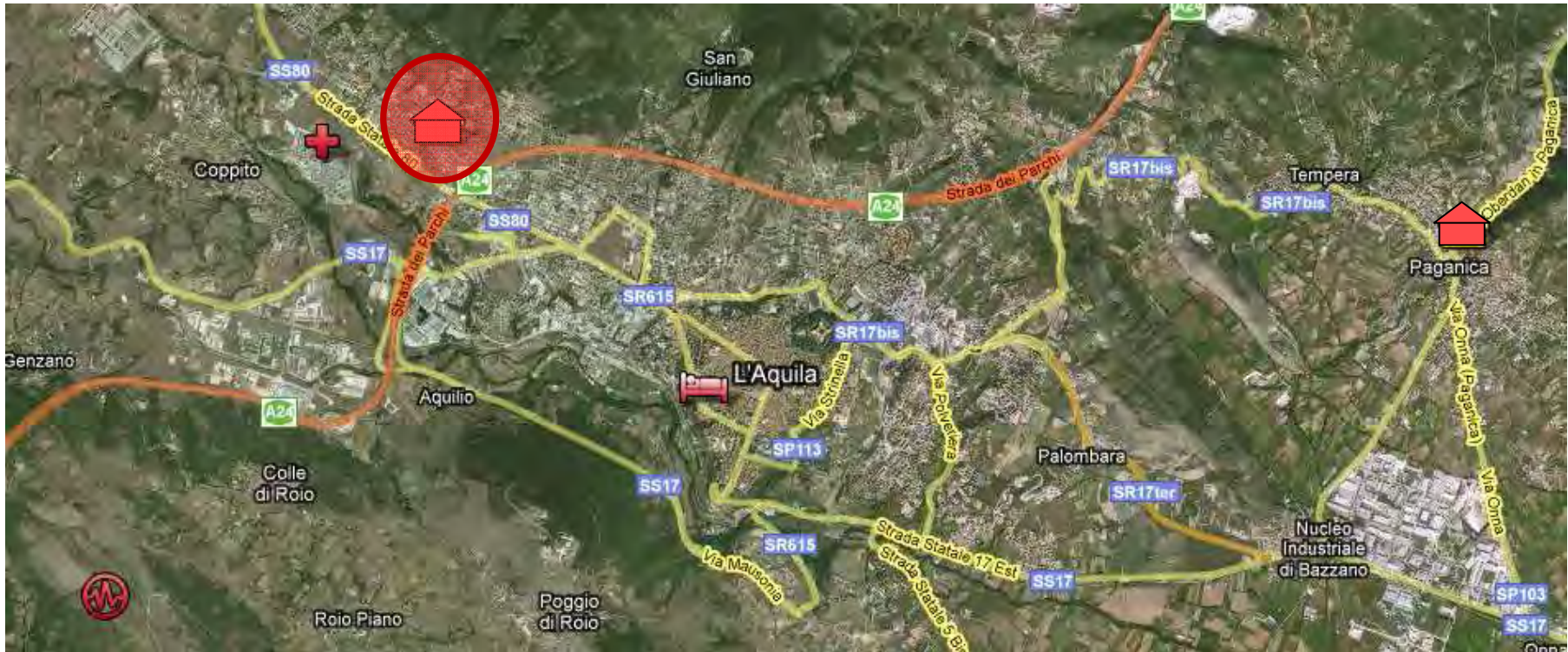
Semelhante aos PET04-05

Maiores danos ao nível do R/C (tendência de resposta semelhante), mas nível de danos muito inferior

Causas possíveis: solos de fundação? (edifício construído a cota significativamente inferior)



Edifícios – PET07



PET01-02



PET03



PET04-05-06



PET07



PAG04



Residências



Hospital

Edifícios – PET07



Dados gerais

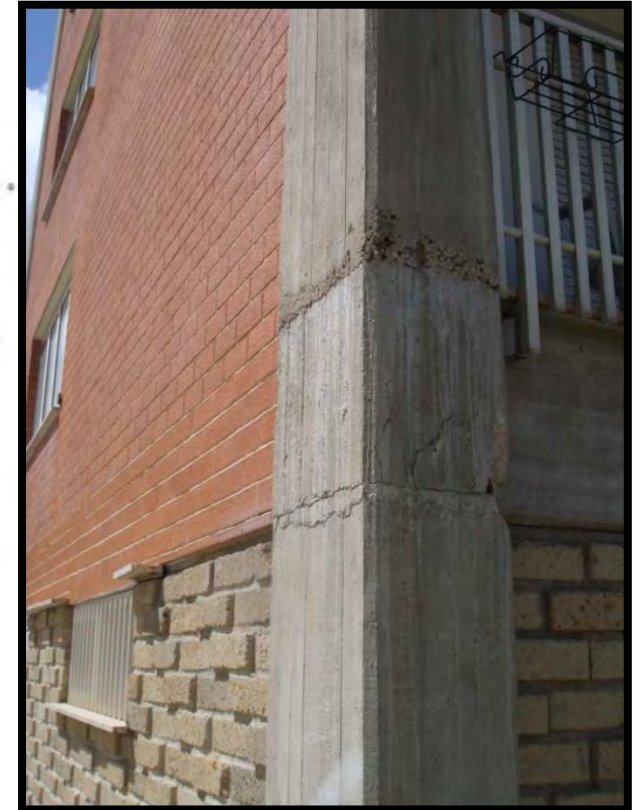
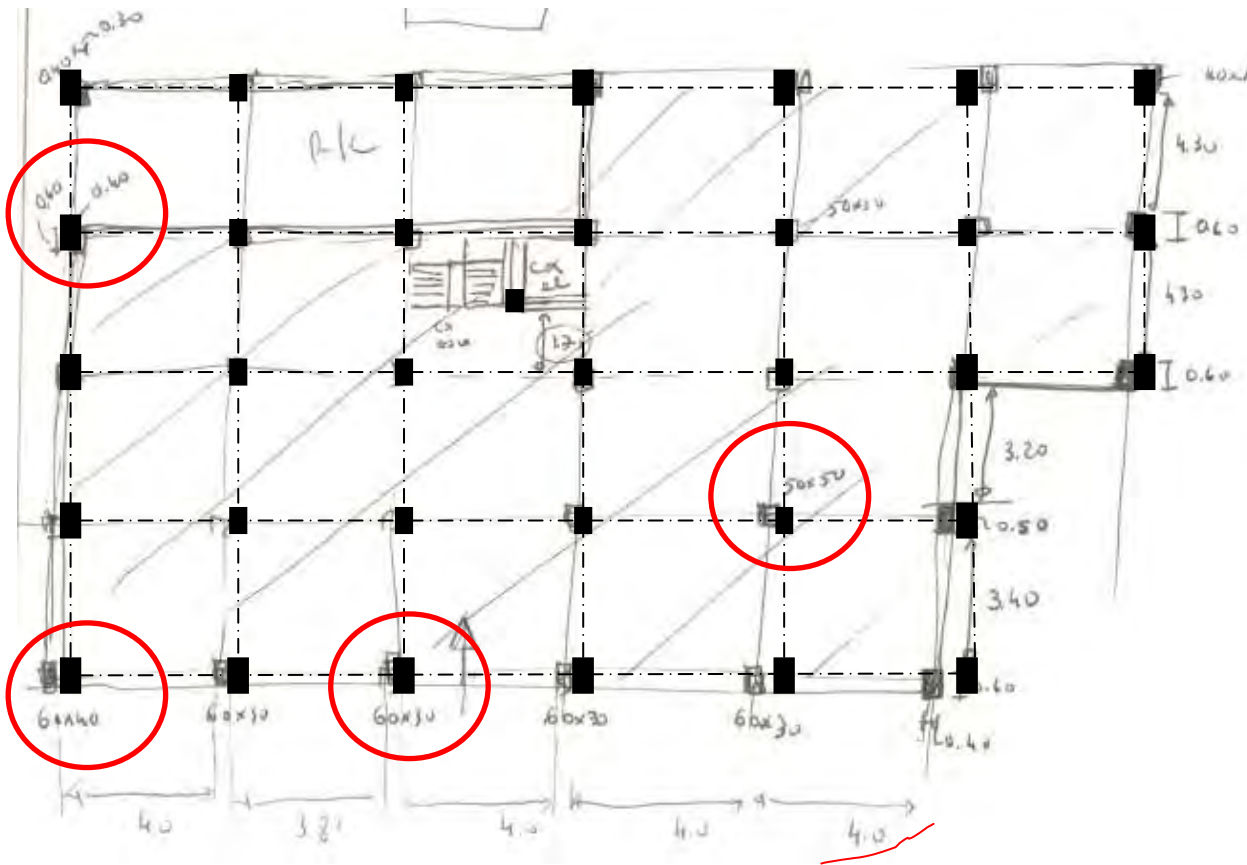
- ano de construção: 2000
- uso residencial
- 10 apartamentos
- isolado
- RC+5 pisos
- sem cave
- pé-direito médio de 2.5m
- estrutura porticada em BA
- com painéis de alvenaria de enchimento





Edifícios – PET07

Esquema estrutural (R/C)



- estrutura regular
- vãos pequenos (4m)
- pilares robustos

Edifícios – PET07



Danos observados

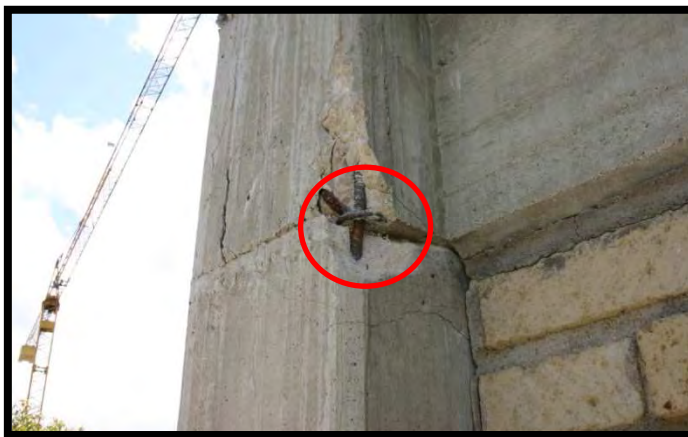
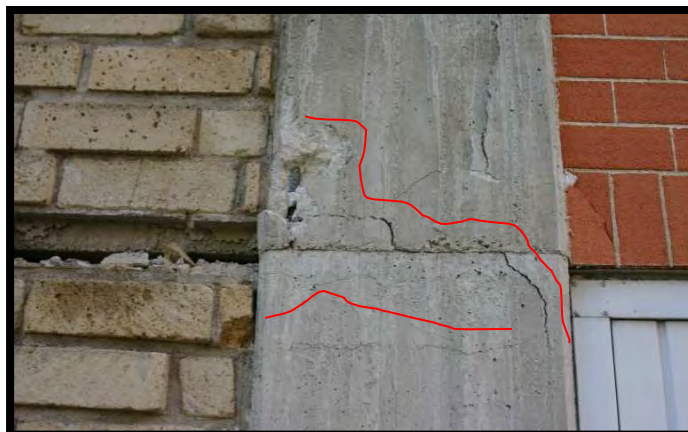
- danos não estruturais associado às alvenarias
- problemas estruturais severos:
 - dano concentrado nas extremidades dos pilares (rótulas plásticas), e particularmente nas juntas de betonagem
 - rotura por corte de alguns pilares do R\C





Edifícios – PET07

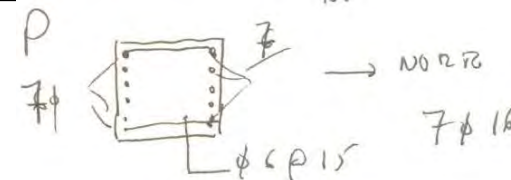
Danos na envolvente exterior do edifício



Causas possíveis: ausência de armadura transversal nos nós; betão pobre; recobrimento;

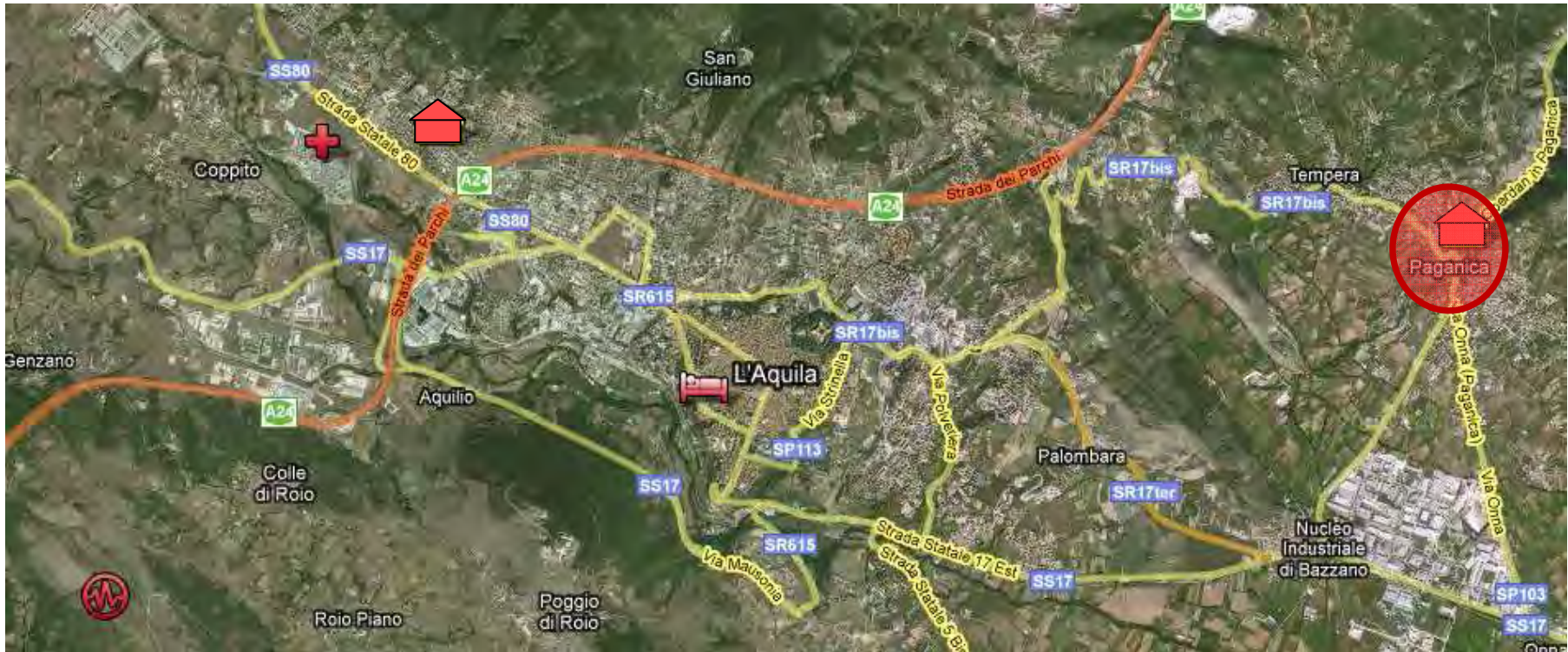


Edifícios – PET07



Causas possíveis: Insuficiente armadura transversal, e armadura longitudinal apenas em duas faces do pilar; distância entre varões longitudinais

Edifício – PAG04



PET01-02



PET03



PET04-05-06



PET07



PAG04



Residências



Hospital



Edifício – PAG04

Dados gerais

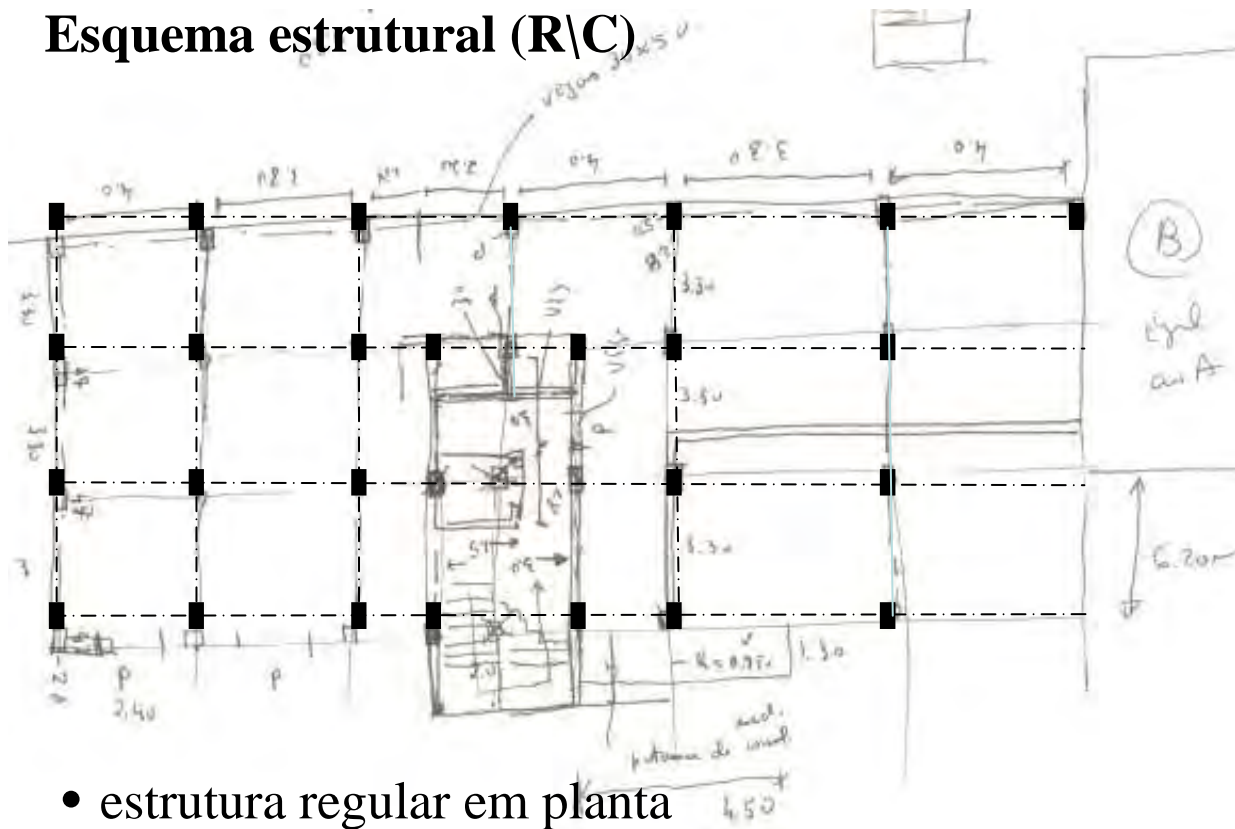
- ano de construção: anterior a 2000 ?
- uso residencial
- 8 apartamentos
- isolado
- R\C+2
- sem cave
- pé-direito do R\C significativamente inferior pisos superiores
- estrutura porticada em BA
- com painéis de alvenaria de enchimento



Edifício – PAG04



Esquema estrutural (R\C)



- estrutura regular em planta
- irregularidade em altura ao nível do 1º piso
- vãos pequenos (4m)
- pilares com maior inércia orientada numa única direcção



Edifício – PAG04

Danos observados

- dano não estrutural associado às alvenarias (no plano e fora do plano)
- danos estruturais
 - rótulas plásticas nos pilares
 - rotura por corte de pilares do R\C
 - nós viga-pilar com deficiências de pormenorização da armadura



Edifício – PAG04



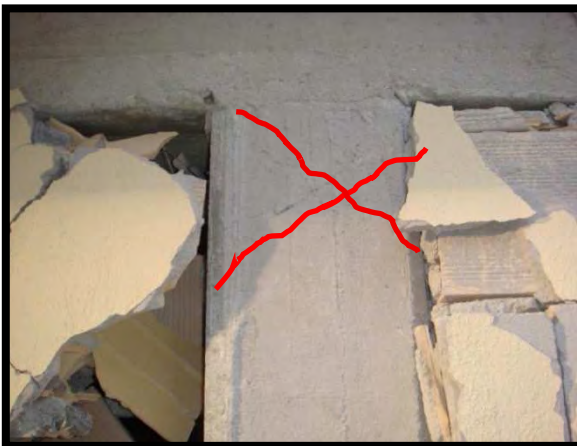
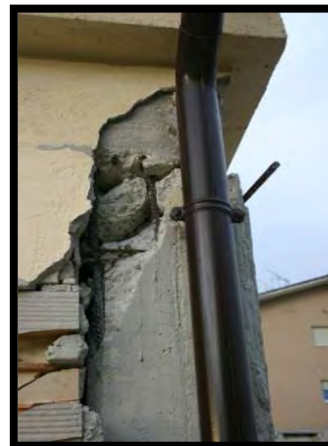
Danos em painéis exteriores de alvenaria





Edifício – PAG04

Danos em elementos de betão armado

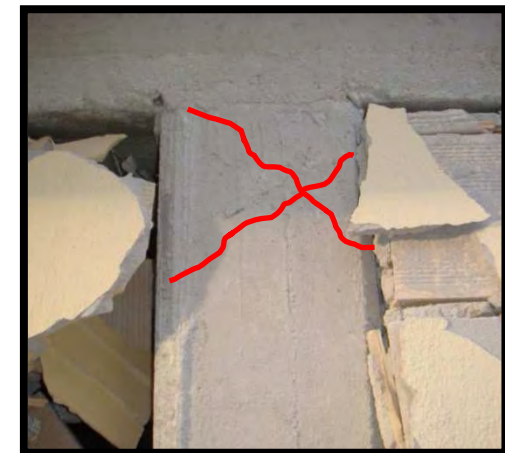
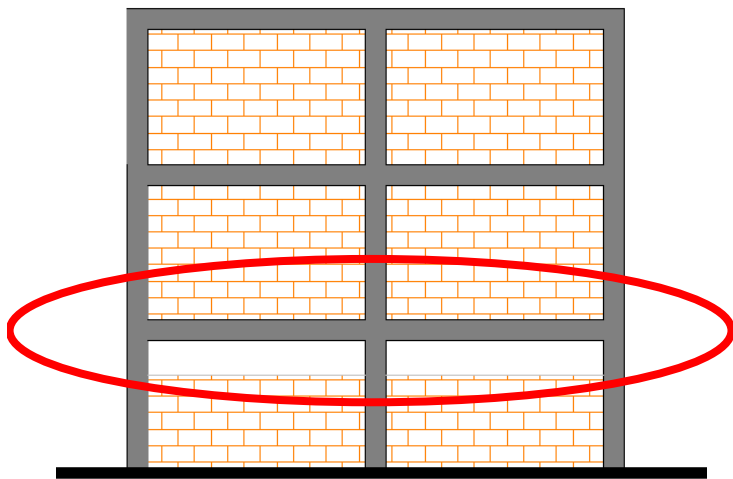


Causas possíveis: ausência de armadura transversal nos nós; amarração da armadura longitudinal das vigas; rotura por corte em pilares

Edifício – PAG04



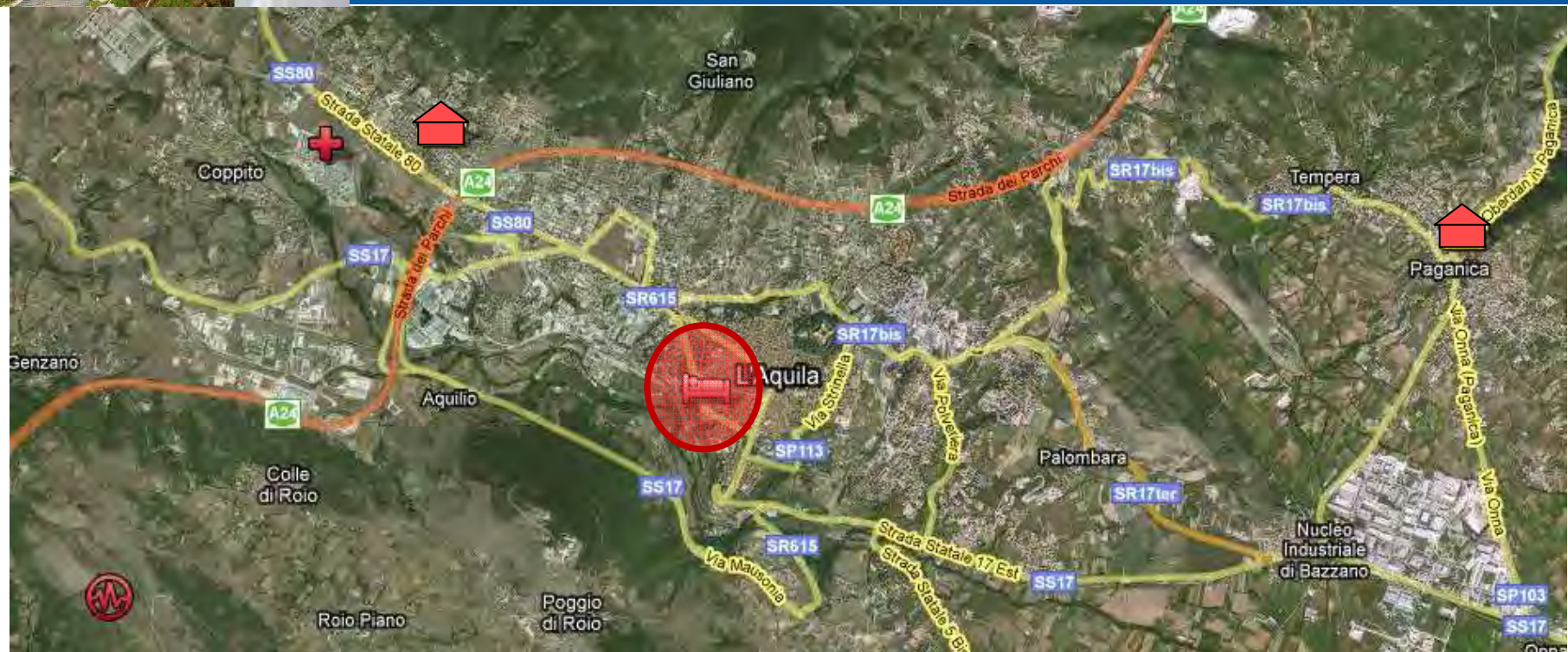
Pilares curtos



Causas possíveis: aberturas interrompendo os painéis de alvenaria



Residência de estudantes Centro de L'Aquila



PET01-02



PET03



PET04-05-06



PET07



PAG04



Residências



Hospital

Residência de estudantes Centro de L'Aquila



Dados gerais

- ano de construção: início da década de 70?
- residência de estudantes
- 5 pisos + cave
- estrutura porticada em BA
- com painéis de alvenaria de enchimento
- lajes pré-fabricadas (vigotas não pré-esforçadas; blocos cerâmicos)
- betão muito pobre
- armadura lisa
- insuficiente armadura transversal





Residência de estudantes Centro de L'Aquila

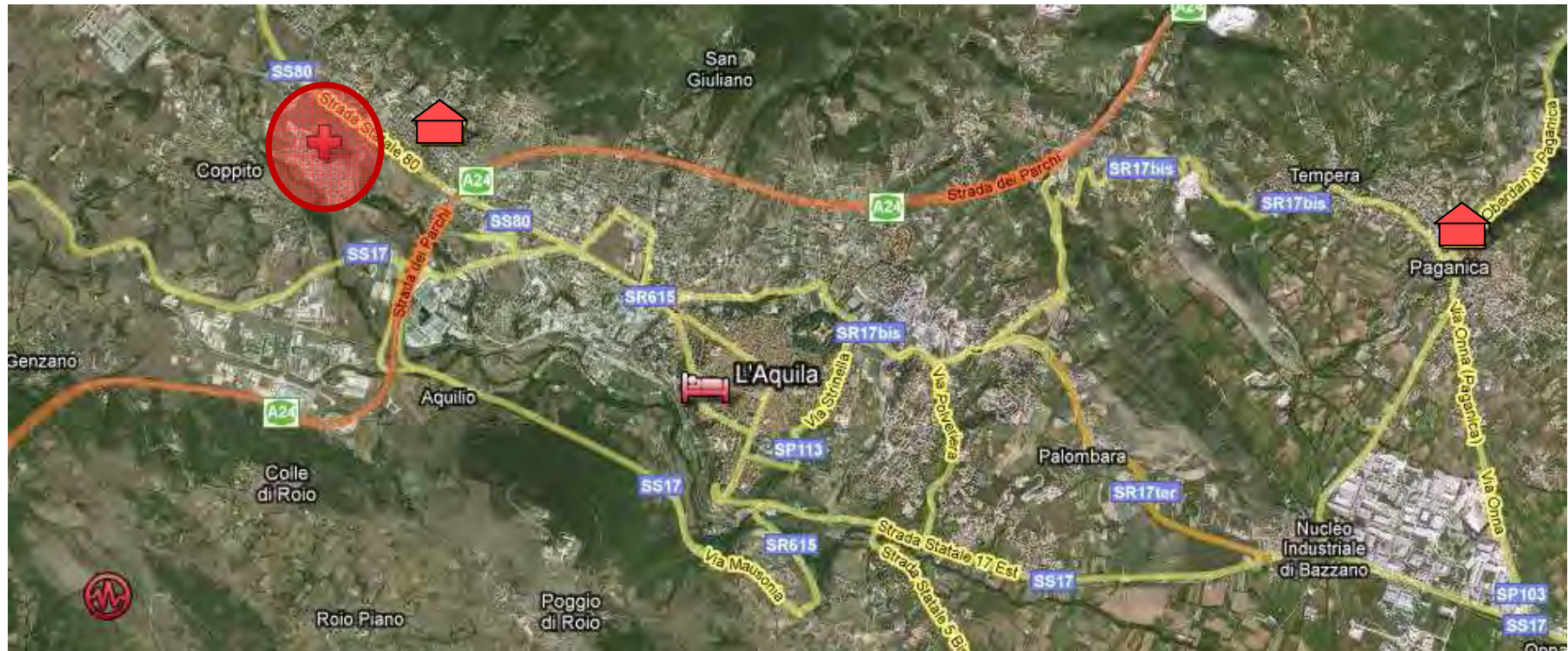


Danos observados

- colapso de parte da estrutura
- estrutura altamente irregular em planta



Hospital San Salvatore - L'Aquila



PET01-02



PET03



PET04-05-06



PET07



PAG04



Residências



Hospital



Hospital San Salvatore - L'Aquila

Dados gerais

- vários blocos construídos períodos distintos
- edifícios irregulares em planta e em altura
- estruturas em BA (porticadas; alguns edifícios possuem paredes resistentes de grandes dimensões)
- com painéis de alvenaria de enchimento



Hospital San Salvatore - L'Aquila



Danos observados

- danos (de vários níveis) em vários edifícios nas alvenarias (no plano), com maior incidência nos pisos inferiores
- problemas estruturais:
 - dano nas zonas de rótula plástica dos pilares
 - rotura por corte de paredes resistentes de BA





Hospital San Salvatore - L'Aquila

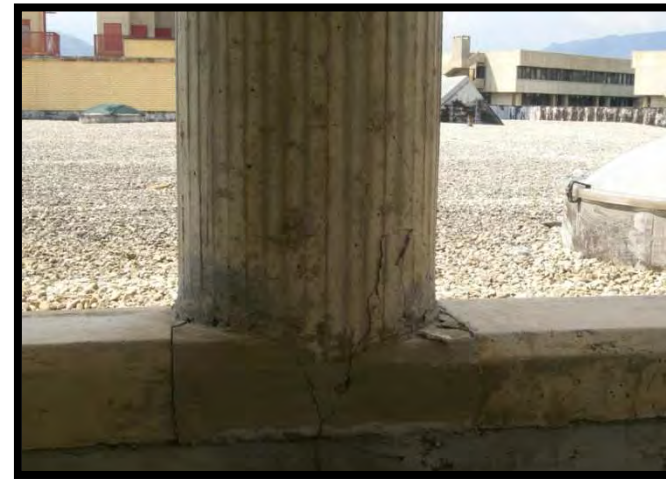
Danos generalizados nas paredes de alvenaria de enchimento



Hospital San Salvatore - L'Aquila



Danos devido a insuficiente resistência ao corte de paredes resistentes de BA, ao nível do R\C. Poucos elementos verticais ligados à laje, recebendo grande parte das solicitações sísmicas





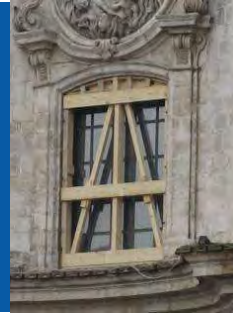
Hospital San Salvatore - L'Aquila

Edifício de acesso às urgências (construído em 2000; 2 pisos)

Danos severos nos pilares de betão armado, devido a irregularidades pronunciadas em planta e em altura

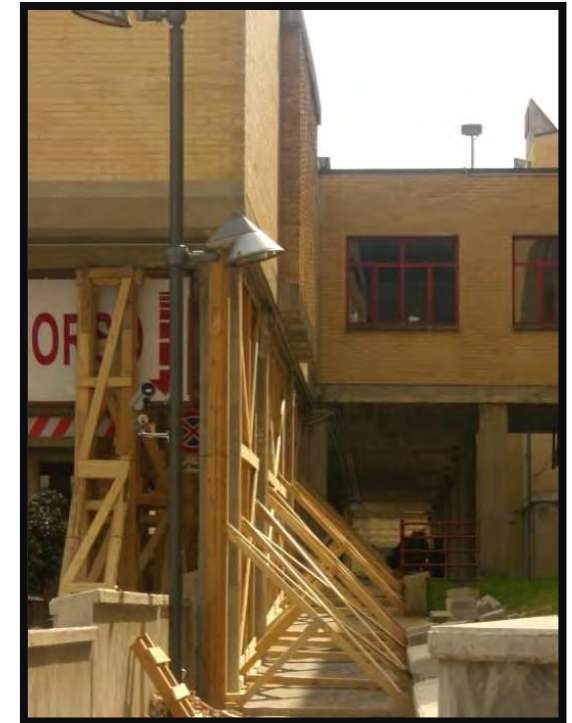


Hospital San Salvatore - L'Aquila



Edifício de acesso às urgências (construído em 2000; 2 pisos)

Danos severos nos pilares de betão armado, devido a irregularidades pronunciadas em planta e em altura



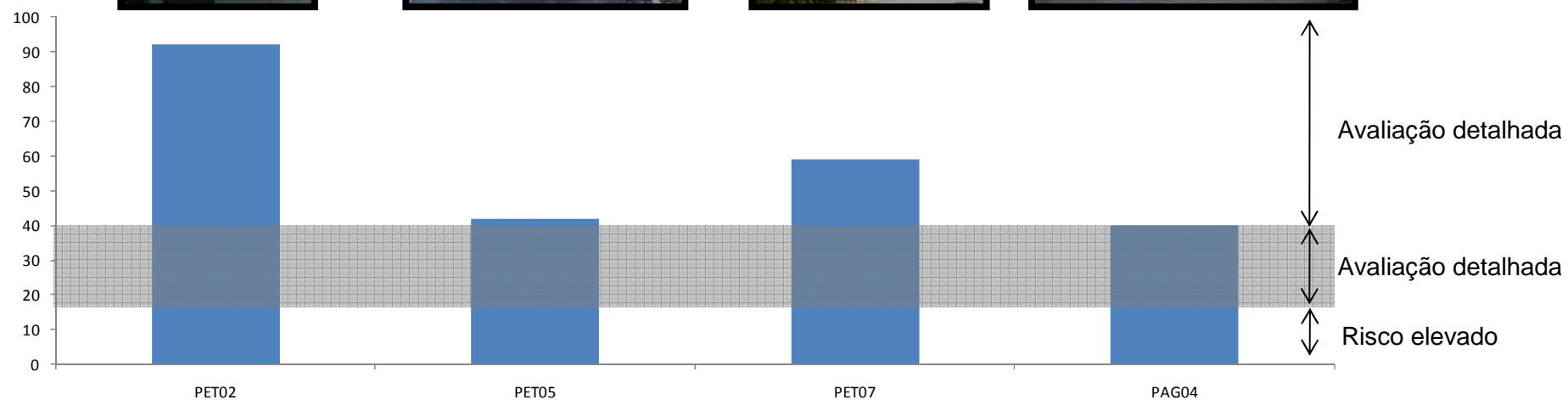
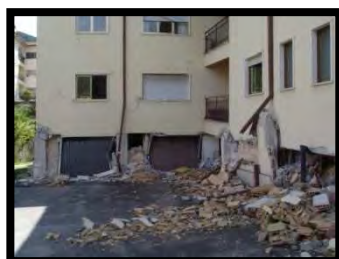


Ferramentas de avaliação da vulnerabilidade sísmica

Metodologia de avaliação rápida da vulnerabilidade sísmica de Edifícios de BA
“*P25 Scoring Method*” (Ihsan Engin BAL, Semih TEZCAN, e Gulden GULAY)

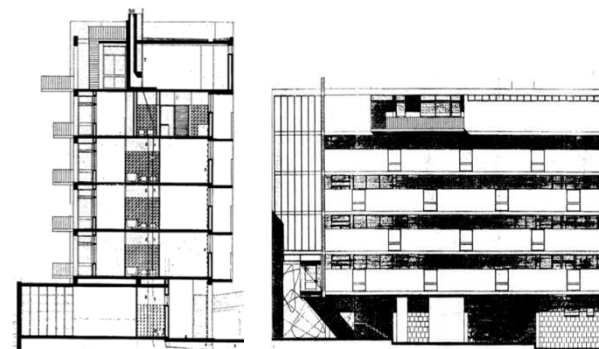
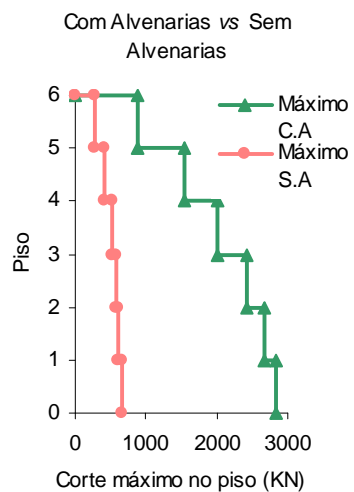
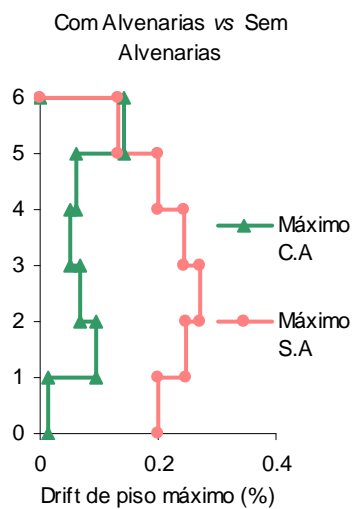
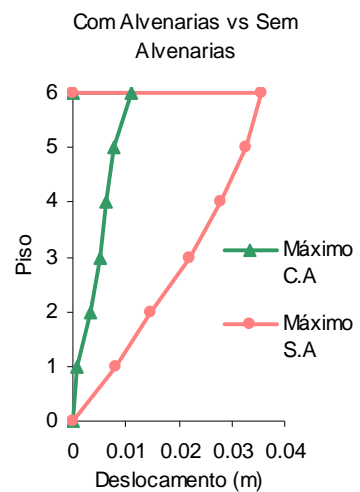
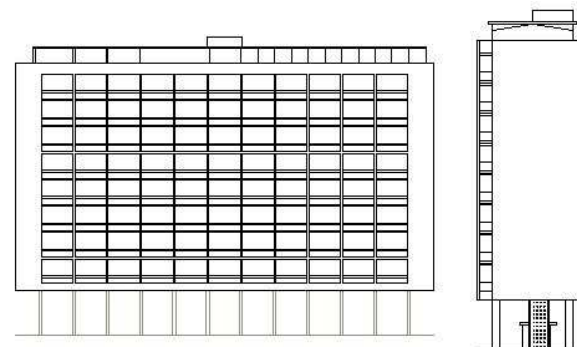
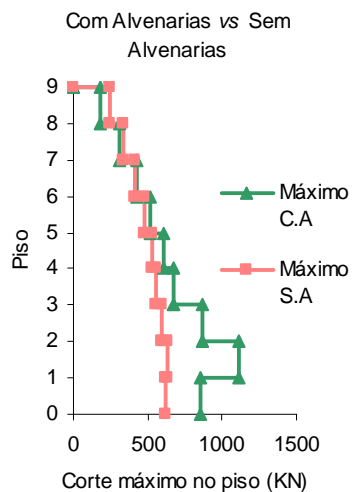
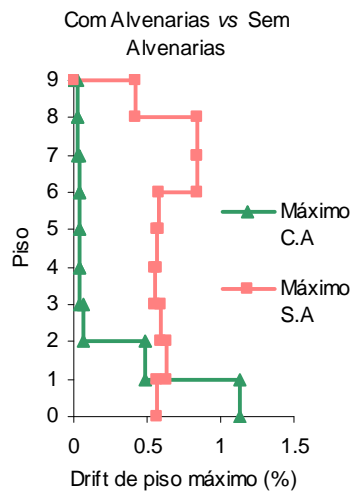
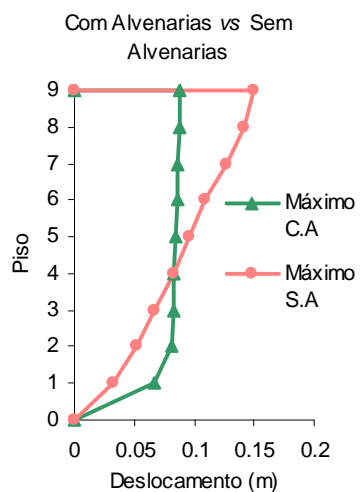
- *área do edifício em planta*
- *dimensões dos elementos estruturais (pilares, vigas, paredes resistentes)*
- *dimensões das paredes de alvenaria de enchimento*
- *qualidade dos materiais*
- *critérios de regularidade e interacção com outros edifícios*
- *tipo de solo*

Ferramentas de avaliação da vulnerabilidade sísmica





Ferramentas de avaliação da vulnerabilidade sísmica



Ensinamentos para Portugal

Elementos não estruturais



Em Portugal são preconizadas para as paredes de fachada, correntemente, soluções:

- em tijolo de furação horizontal (mais de 60% de vazios)
- panos duplos ou simples de alvenaria de tijolo, confinados pela estrutura de BA
- sem ligação à estrutura
- ausência de grampeamento entre panos
- correcção de pontes térmicas com soluções instáveis mecanicamente



Mesmo quando se detalham as paredes, fazem-se pormenores-tipo para zona corrente, sem atenção especial nos pontos singulares



Ensinaamentos para Portugal

Aspectos estruturais

Na avaliação de edifícios existentes e dimensionamento de novos edifícios:

- consideração dos painéis de alvenaria no cálculo estrutural (por verificações simples pós-dimensionamento)
- atenção particular à rigidez diferencial entre o primeiro piso e os restantes (pé-direito, dimensões aberturas, distribuição das paredes de alvenaria)

Na avaliação das estruturas antigas (construídas até à década de 70):

- influência da armadura lisa
- pormenorização da armadura (especialmente nos nós, armadura transversal em pilares e amarração)

Muito obrigado pela Vossa atenção



às vítimas do terramoto de Abbruzzo