



Strutture Edilizie



PATOLOGIA DAS ESTRUTURAS DOS EDIFÍCIOS

Dott. Ing. Claudio De Angelis

http://www.vigilidelfuoco.bergamo.it/formazione/strutture_edilizie.htm

(Tradução : António de Borja Araújo, eng.º civil, I.S.T.)

CLASSIFICAÇÃO DOS EDIFÍCIOS

Definição de edifício

Conjunto de elementos construtivos interligados e dimensionados por forma a poderem assumir as funções que lhes estão destinadas, dentro dos limites das cargas de segurança.

Tipologias estruturais

- em alvenaria;
- em conglomerado cimentício armado;
- em aço;
- em madeira;
- estruturas mistas.

Edifícios em alvenaria

- Podemos tentar o seu agrupamento em classes e continuar com essa classificação também para as outras tipologias.

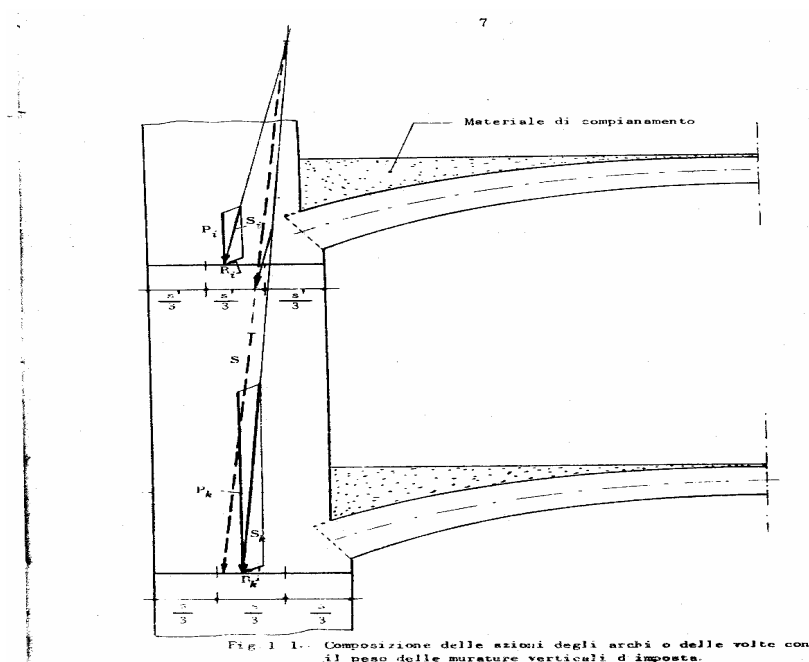
Classificação dos edifícios em alvenaria

- 1.^a Classe – construções constituídas exclusivamente por alvenaria;
- 2.^a Classe – construções constituídas por um conjunto vertical em alvenaria para sustentação de pavimentos horizontais formados por vigas não ligadas à alvenaria nos pontos de apoio;
- 3.^a Classe – construções constituídas por suportes verticais em alvenaria e por pavimentos, monoliticamente ligados entre si.

1.ª Classe - Construções exclusivamente constituídas por alvenaria

O esquema que as caracteriza é aquele em que todos os membros portadores de carga são construídos em alvenaria (incapaz de resistir à tracção) e suportam cargas exclusivamente em regime de compressão, geralmente excêntrica. Em particular, as estruturas que suportam as cargas que actuam sobre os pavimentos, são realizadas com esquemas geradores de impulso (arcos e abóbadas). Os membros verticais têm que ser capazes de suportar, para além das cargas verticais, os impulsos gerados por esses arcos e abóbadas.

- Apenas os edifícios mais antigos fornecem exemplos de construções integralmente realizadas em alvenaria;
- Os suportes verticais e os pavimentos são construídos com materiais pétreos;
- Em especial, os pavimentos são subdivididos por arcos e abóbadas superiormente aplanados com um material de enchimento estaticamente inerte;
- As cargas são constituídas, na sua maior parte, pelo peso próprio e pelas sobrecargas permanentes. Estas determinam flexões compostas com compressão na secção transversal genérica;
- As acções dos arcos e das abóbadas sobre as impostas compõem-se com o peso das alvenarias verticais;
- Para que a resultante dessas forças fique sempre contida dentro da secção, ou melhor ainda, dentro do seu terço médio, as alvenarias têm que assumir proporções notáveis.



- Toda a estrutura fica definitivamente solicitada à flexão composta com compressão;
- Embora a explicação anterior possa ser simples, na realidade uma análise estática rigorosa de uma estrutura integralmente em alvenaria é muito complexa;
- A hipótese de absoluta incapacidade para resistir à tracção (com a consequente ausência da própria tracção) refere-se a uma condição limite teórica para a qual a estrutura tende;
- Na realidade, nessa estrutura, originalmente, existem zonas de alvenaria submetidas à tracção, naturalmente no âmbito da resistência limite.
- Assim, no seu período de vida inicial determina-se um regime estático que corresponde a um material também resistente à tracção.
- Nos anos seguintes, vão-se sobrepondo cargas exteriores aos efeitos iniciais, assentamentos das superfícies de fundação, coacções consequentes dos ciclos térmicos sazonais, efeitos da retracção, do vento, etc.
- As zonas que estavam traccionadas no período inicial, ou por fadiga ou por ultrapassagem da sua resistência à tracção, acabam por ceder ou por se fracturar, em grande parte;
- Os arcos e os suportes verticais parcializam-se reduzindo-se a sua rigidez;
- As deformações iniciais crescem e a estrutura, do estado inicial de completa integridade, passa através de novos estados caracterizados por parcializações sempre mais amplas das partes que sucessivamente vão ficando traccionadas e que ultrapassam a resistência limite à tracção.

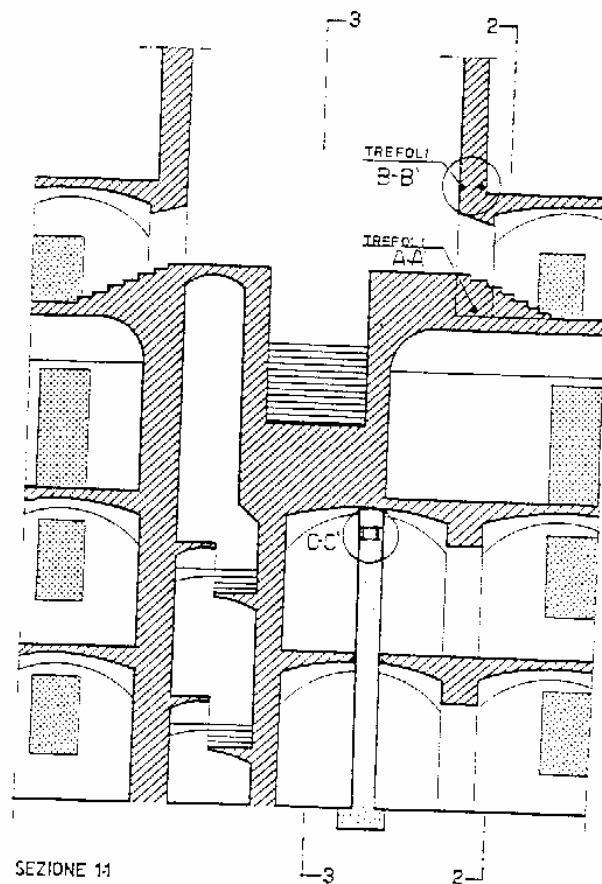


Fig. 130

- Esta passagem é gradual e o esquema estático da estrutura, correspondente à evolução do quadro fissurativo, modifica-se, com variações das características geométricas e elásticas, tendendo para o limite (teórico) de uma estrutura completamente isenta de zonas traccionadas.
- Justifica-se, assim, com vantagem para a segurança, a formulação e a adopção das hipóteses de limite final com parcializações "a priori" de todas as secções transversais da alvenaria;
- Supõe-se que a estrutura é constituída por um conjunto de pedras "toscas" idealmente separadas entre si. O contacto pontual entre os blocos individuais é assegurado pela argamassa que regulariza a aspereza das pedras individuais;
- A capacidade de carga conjunta deste esquema é, decerto, inferior à da estrutura real o que se revela vantajosamente adequado para a sua estabilidade.

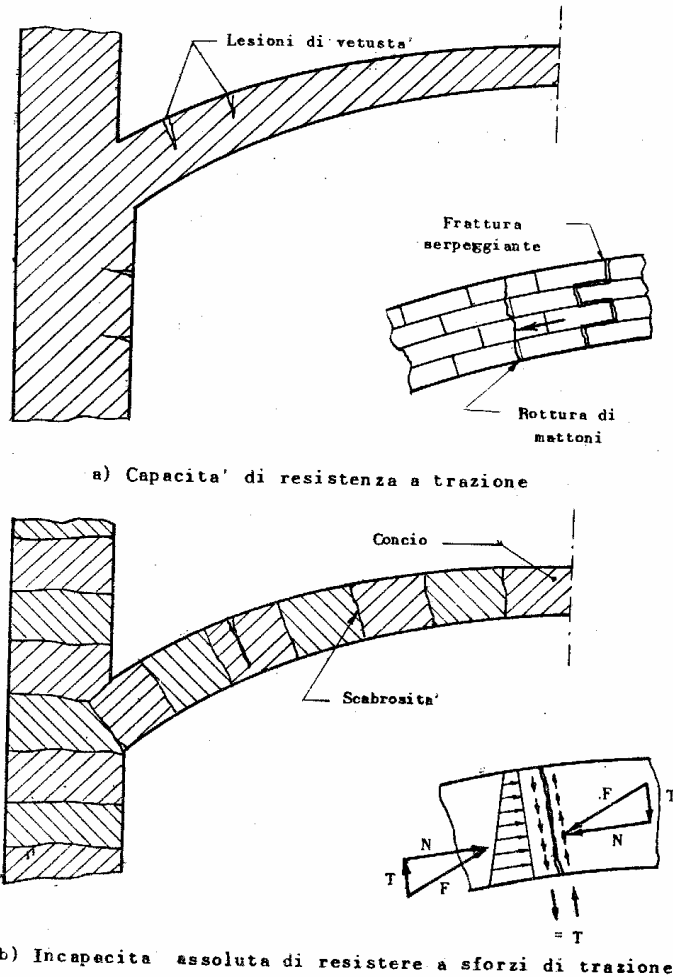


Fig. 1-2.- Schematizzazione della muratura in materiale omogeneo a) e in conci scabri - b) e relative fratture.

2.^a Classe - Construções constituídas por uma estrutura vertical em alvenaria suportando pavimentos horizontais formados com vigas não ligadas à alvenaria nos pontos de apoio.

- Os pavimentos são construídos em madeira ou em ferro e apoiados sobre as alvenarias com espaçamentos apropriados;
- As cargas são suportadas por flexão e corte;
- É eliminado qualquer efeito de impulso, característico da primeira classe, com notável vantagem estática para os suportes em alvenaria;
- A característica desta classe é a autonomia estática das paredes verticais que prescindem da colaboração das vigas horizontais;
- As vigas horizontais podem ser substituídas, pelo menos em parte, sem se provocar qualquer prejuízo à estrutura vertical;
- Na hipótese limite de ligações isentas de atrito, as vigas deslizam livremente sobre as alvenarias;
- Em tal hipótese, as vigas e as alvenarias são dois sistemas independentes e assim transmitem mutuamente acções verticais;
- Na realidade, as ligações não são livres, mas sim dotadas de atrito;
- Com dispositivos apropriados (chaves de ancoragem nas cabeças das vigas) podem-se impor restrições horizontais eficazes, com notáveis benefícios para a estabilidade do edifício;
- Um aspecto importante na técnica construtiva é que o verso do vigamento dos pavimentos seja alienadamente variado nos vários andares por forma a que não existam paredes desligadas ao longo de toda a altura do edifício.

- Todas as paredes em alvenaria são consideradas como estaticamente desligadas mesmo das paredes transversais às quais estão geometricamente adjacentes.
- Esta hipótese concretiza-se se verificar um afastamento das paredes em correspondência com o seu cruzamento.
- Isto é possível porque faltam elementos horizontais resistentes à tracção que assegurem essa ligação.
- A condição estática das paredes perimetrais é particularmente delicada. De facto, o aprumo da sua superfície exterior é mantido constante por motivos arquitectónicos e os adelgaçamentos são todos efectuados pelo interior.
- Por outro lado, nas empenas dos edificios, onde os pavimentos são estruturados paralelamente à parede, falta uma ligação transversal, mínima que seja (nem que seja por atrito) e, portanto, a parede pode manifestar uma tendência para criar uma convexidade para o exterior.

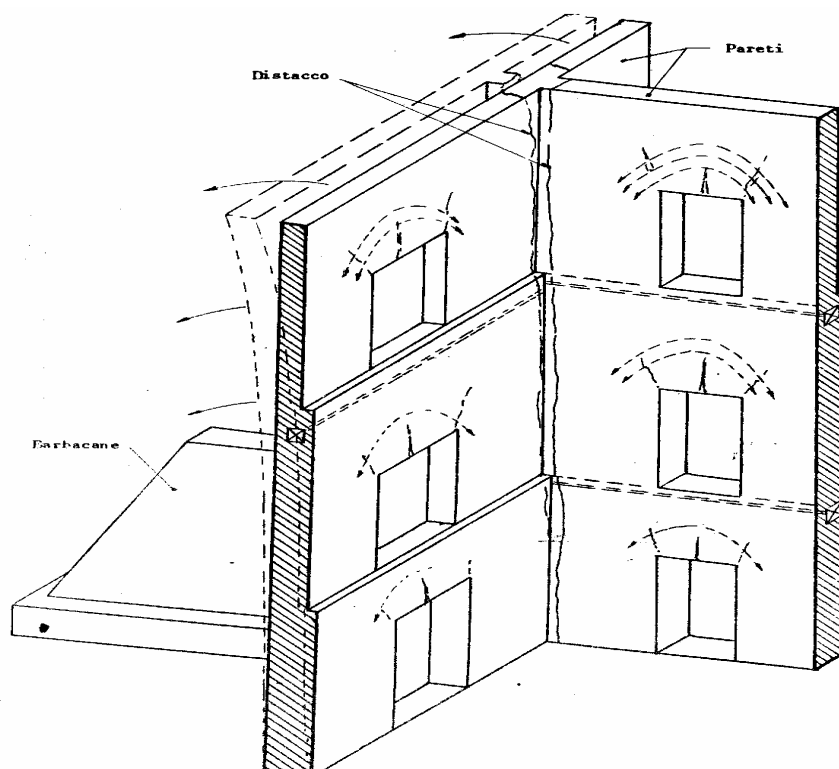


Fig 1 3.- Possibilita' di distacchi tra pareti murarie e formazione di archi sui vmi.

3.^a Classe - Construções constituídas por suportes verticais em alvenaria e por pavimentos monolíticos interligados

- Em correspondência com todos os pavimentos é colocada uma viga horizontal de apoio (lintel em betão armado);
- Este lintel é explicado pelas funções de interligação;
- Por esta forma são impedidos os movimentos relativos;
- É, também, imposta uma certa coerência de rotações entre pavimentos e alvenarias.

Tipologias construtivas dos elementos em alvenaria

- Alvenaria irregular de pedra não aparelhada;
- Alvenaria de pedra aparelhada;
- Alvenaria com enchimento interior;
- Alvenaria de tijolo maciço;
- Alvenaria com fiadas alternadas de pedra natural e de tijolo;

4.^a Classe - Edifícios com estrutura em betão armado

- É o tipo estrutural bem característico que apresenta um esqueleto totalmente em conglomerado cimentício armado.
- Neste caso, as alvenarias, podendo contribuir para a rigidez da estrutura, não são consideradas portadoras de cargas;
- Do ponto de vista do cálculo das solicitações consequentes de um fenómeno sísmico e do correspondente comportamento da estrutura, o esquema estrutural mais completo é o de um esqueleto espacial, diafragmado em todos os andares por lajes rígidas (os pavimentos) no seu plano.

5.^a Classe - Edifícios com estrutura em aço

Diferem dos precedentes, para além do material, pelo seu esquema estrutural a que se deve garantir uma rigidez suficiente e a absorção das forças horizontais induzidas (além da força sísmica, também a do vento).

6.ª Classe - Edifícios mistos aço + betão armado

- Podem ter, por exemplo, pilares em aço e pavimentos em betão armado, etc.
- Ou totalmente em aço com rigidificações constituídas por septos em betão armado (em correspondência com a caixa de escada ou com as empenas do edifício).

7.ª Classe - Outros tipos de edifícios

- Edificações construídas por técnicas industrializadas (ex. Painéis portantes);
 - Executadas em obra
 - Pré-fabricadas;
- Construções globalmente mais rígidas que se aproximam dos antigos edifícios em alvenaria. Mais sensíveis aos eventuais assentamentos diferenciais e às variações térmicas;
- Outros tipos de edificações :
 - Em madeira ; pouco usadas em Itália, no passado, mas muito vulgares noutros países, estão-se a espalhar com uma certa velocidade mesmo no nosso campo, em especial para aplicações específicas, tais como dependências agrícolas e aldeamentos turísticos;
 - Estruturas mistas alvenaria + betão armado; a técnica mais espalhada emprega paredes permitras portadoras de carga e interiores com vigas e pilares, ou então com paredes perimetrais portadores e lajes de vigotas de betão para os pavimentos e terraços.

As estruturas em alvenaria e as solicitações elementares

ALVENARIA

Material ou corpo composto com propriedades diferentes das dos seus componentes

- A alvenaria representa uma das mais antigas técnicas construtivas;
- Graves danos, ou danos irreversíveis (desabamentos totais) em velhos edifícios de alvenaria, por causa dos terremotos, têm suscitado e suscitam uma impressão totalmente negativa, entre os leigos, sobre a idoneidade e a adequação da alvenaria como técnica construtiva em zonas sísmicas.

Na realidade, tal inadequação é consequente de outros motivos, mais precisamente :

- Má qualidade dos materiais utilizados;
- Má execução da construção;
- Má concepção da estrutura;
- Ausência de um projecto minucioso;
- Falta de manutenção;
- Aumentos em altura e /ou em planta da construção (com o acréscimo de uma estrutura portante em alvenaria ou em betão armado) sem um estudo cuidadoso, alterando-se, assim, o esquema estático original dessa construção.

Podemos, portanto, enumerar as vantagens e desvantagens consequentes da utilização da alvenaria como sistema construtivo :

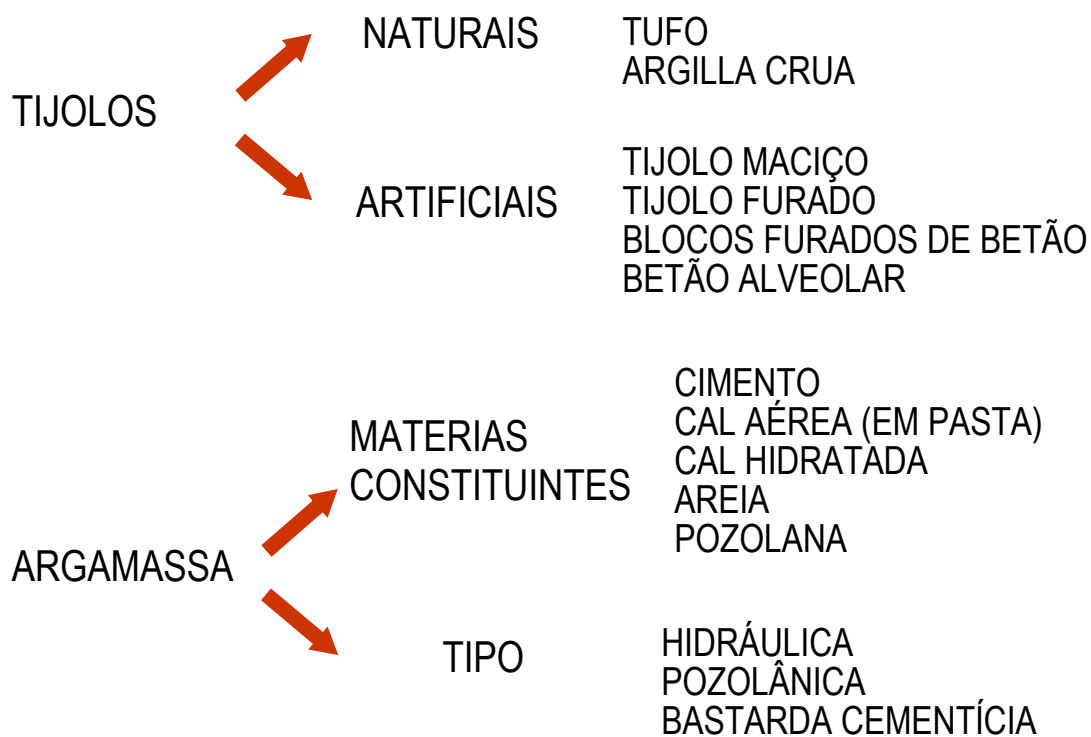
VANTAGENS

- Menores custos relativamente à construção em betão armado;
- Melhores características ignífugas;
- Melhor resposta às variações térmicas;
- Melhor isolamento acústico;
- Maior rapidez e facilidade de execução (este último factor, fundamentalmente nas zonas onde não existem técnicos e equipamentos adequados);
- Notável capacidade e versatilidade de adaptação ambiental, seja nos centros históricos das cidades, seja nas zonas rurais;
- Elevada durabilidade no tempo.

DESVANTAGENS

- Fragilidade (que é minorada pelo emprego de cintagens e armaduras);
- Notável diminuição da resistência em presença de cargas cíclicas repetidas;
- Escassa ductilidade, o que impõe a limitação do número de andares para os edifícios situados em zonas sísmicas;
- Valor da resistência à compressão notavelmente mais baixo que o da betão armado.

Os materiais constituintes da alvenaria são :

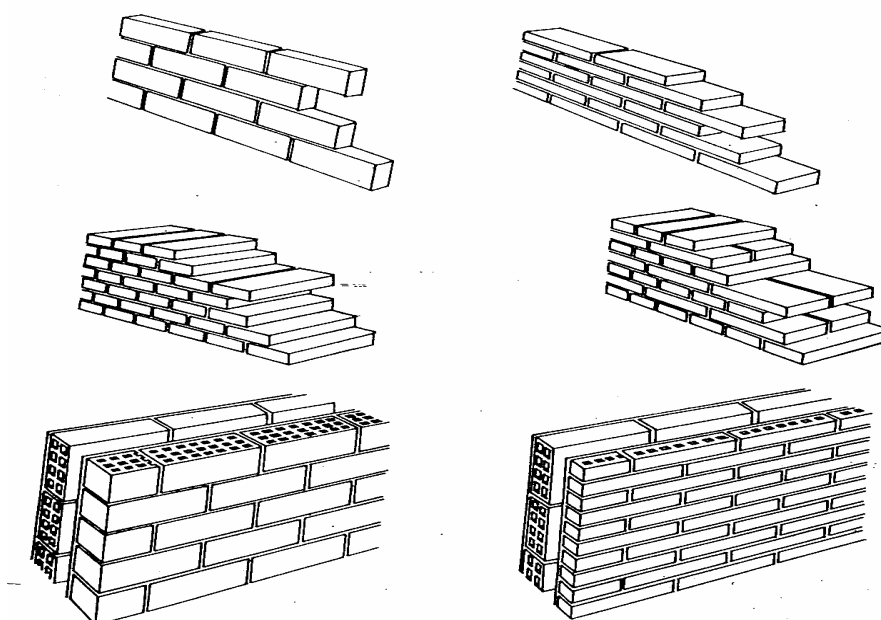


RESISTÊNCIAS DOS MATERIAIS

| TIJOLOS (UNI 563/65) | | |
|--|--------------------------------|--------------------------|
| RESISTÊNCIA (fbk) (N/mm ²) | | |
| CATEGORIA | TIJOLOS MACIÇOS E SEMI-MACIÇOS | TIJOLOS E BLOCOS FURADOS |
| 1 | 10 | - |
| 2 | 15 | - |
| 3 | 25 | 4 |
| 4 | 35 | 6 |
| 5 | 45 | 8 |

| ARGAMASSAS (D.M. 09/01/87) | | | | | | | |
|----------------------------|-------------------|----------------------|------------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------|---|
| Classe | Tipo de argamassa | Cimento (quantidade) | Cal aérea (quantidade) | Cal hidráulica (quantidade) | Areia (quantidade) | Pozolana (quantidade) | Resistência à compressão (N/mm ²) |
| M4 | Hidráulica | | | 1 | 3 | | 2,5 |
| M4 | Pozolânica | | 1 | | | 3 | 2,5 |
| M4 | Bastarda | 1 | | 2 | 9 | | 2,5 |
| M3 | Bastarda | 1 | | 1 | 5 | | 5,0 |
| M2 | Cimentícia | 1 | | 1 | 4 | | 8,0 |
| M1 | Cimentícia | 1 | | 0,5 | 3 | | 12,0 |

TIPOLOGIAS CONSTRUTIVAS DAS ALVENARIAS NÃO ARMADAS



ESPESSURAS MÍNIMAS DAS PAREDES (D.M. 20/11/1987)

| | |
|---|-------|
| Alvenaria em elementos resistentes artificiais maciços | 12 cm |
| Alvenaria em elementos resistentes artificiais semi maciços | 20 cm |
| Alvenaria em elementos resistentes artificiais furados | 25 cm |
| Alvenaria em pedra aparelhada | 24 cm |
| Alvenaria regular | 40 cm |
| Alvenaria de pedra não aparelhada | 50 cm |

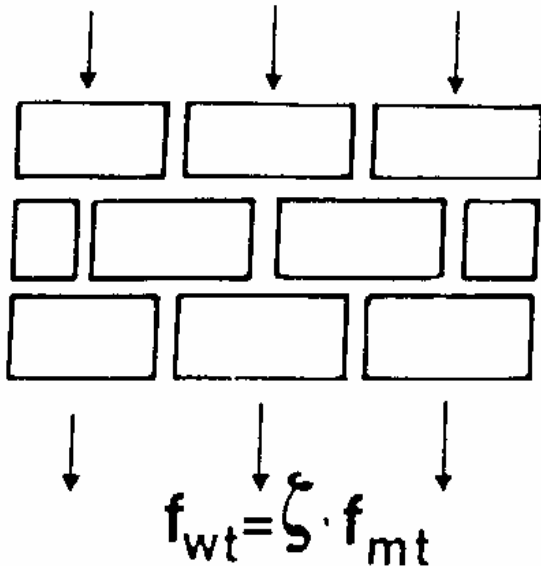
FACTORES QUE INFLUENCIAM A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DAS ALVENARIAS

- Resistência e geometria da pedra (ou do tijolo);
- Resistência do ligante;
- Deformação dos elementos (naturais ou artificiais) e do ligante;
- Espessura das juntas;
- Higroscopicidade da pedra (ou do tijolo);
- Sistema construtivo.

CAMPO DE VARIABILIDADE DA MASSA E DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE VÁRIOS TIPOS DE PEDRA

| TIPO DE ROCHA | | MASSA VOLÚMICA | RESISTÊNCIA (N/mm ²) |
|---------------|----------------------|----------------|-------------------------------------|
| Brandas | Tufos vulcânicos | 1100 – 1750 | 0,3 – 18 |
| | Tufos calcários | 1120 – 2000 | 0,5 – 15 |
| Semi duras | Arenitos | 1800 – 2700 | 7 – 200 |
| | Calcários | 2000 – 2700 | 4 – 200 |
| | Travertinos | 2200 – 2500 | 4 – 50 |
| Duras | Dolomites | 2300 – 2850 | 40 – 180 |
| | Traquites | 2400 – 2800 | 15 – 220 |
| | Pórfiros, Gneiss | 2450 – 2700 | 60 – 300 |
| | Serpentinite | 2560 – 2750 | 40 – 260 |
| | Granitos | 2550 – 2900 | 60 – 300 |
| | Mármoreos sacaróides | 2700 – 2750 | 20 – 150 |
| | Basaltos | 2750 – 2100 | 80 – 500 |

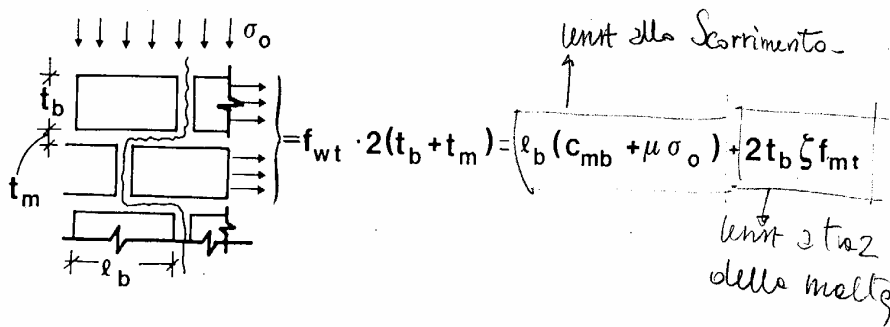
RESISTÊNCIA À TRACÇÃO



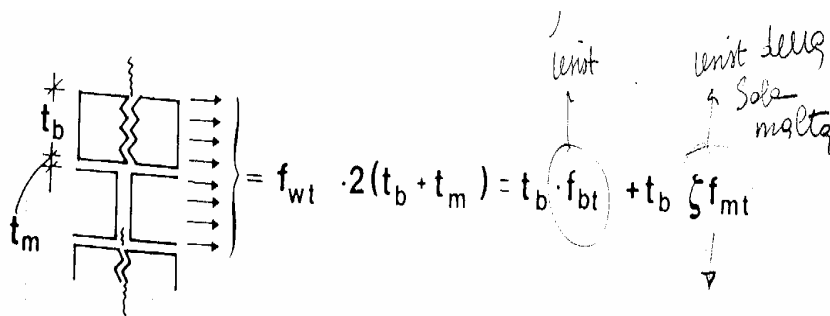
- A resistência à tracção das alvenarias não pode ser avaliada com base num mecanismo de comportamento claro;
- De facto, conforme o ângulo de inclinação com que é criada a lesão por tracção, assim varia a reacção à tracção da própria alvenaria;
- Se a solicitação de tracção agir na direcção vertical, verifica-se a separação do ligante e, portanto, a resistência à tracção da alvenaria pode ser expressa como uma percentagem da resistência à tracção da argamassa.

- A resistência à tracção da alvenaria na direcção horizontal depende de :

- da resistência ao deslizamentos entre o ligante e os elementos da alvenaria;

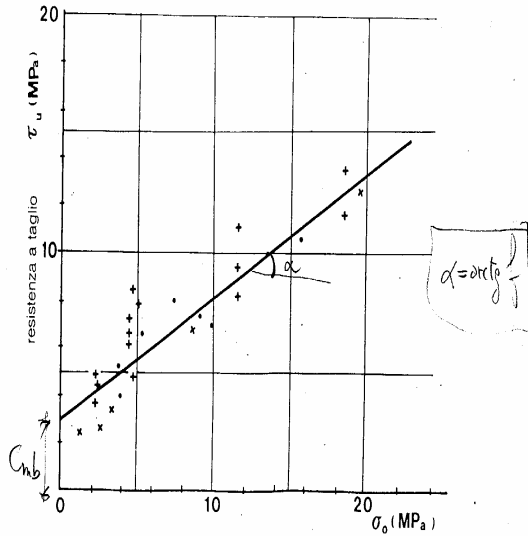


- da resistência à tracção dos próprios elementos;



INFLUÊNCIA DA CARGA AXIAL DE COMPRESSÃO SOBRE A RESISTÊNCIA AO CORTE

Diagramma della influenza della tensione di compressione sulla resistenza a taglio della muratura

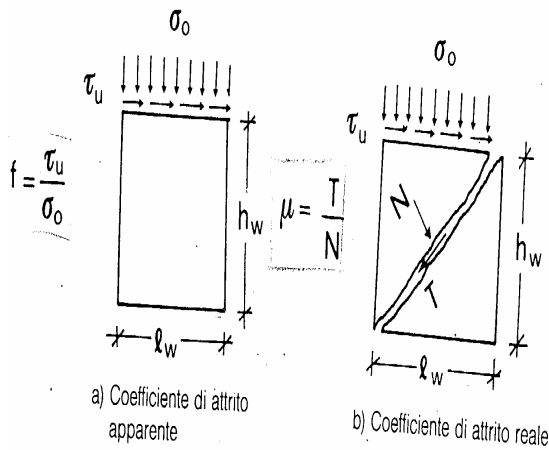


- os estudos conduzidos e os resultados experimentais evidenciaram que um aumento da carga axial provoca um aumento da resistência ao corte e foi estabelecida uma relação :

τ_u = resistência da alvenaria ao corte;
 c_{mb} = coesão entre elementos e ligante;
 σ_o = tensão vertical de compressão;
 f = coeficiente de atrito aparente.

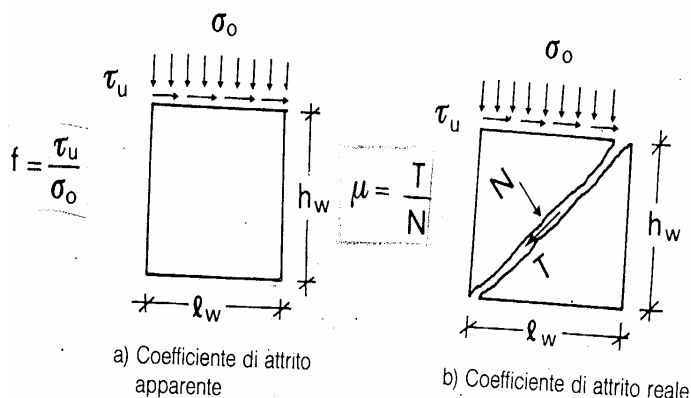
$$\tau_u = c_{mb} + f \cdot \sigma_o$$

COEFICIENTE DE ATRITO COEFICIENTE DE ATRITO APARENTE "f"



- Indica a influência da tensão vertical de compressão sobre a resistência ao corte da alvenaria, e exprime-se pela relação $f = \tau_u / \sigma_o$;
- Valores experimentais de $f = 0.3-0.8$;
- f tem validade para o caso de cedência da parede por efeito do deslizamento entre ligante e elementos da alvenaria, mesmo quando é utilizado para outros tipos de rotura.

COEFICIENTE DE ATRITO COEFICIENTE DE ATRITO EFECTIVO "μ"



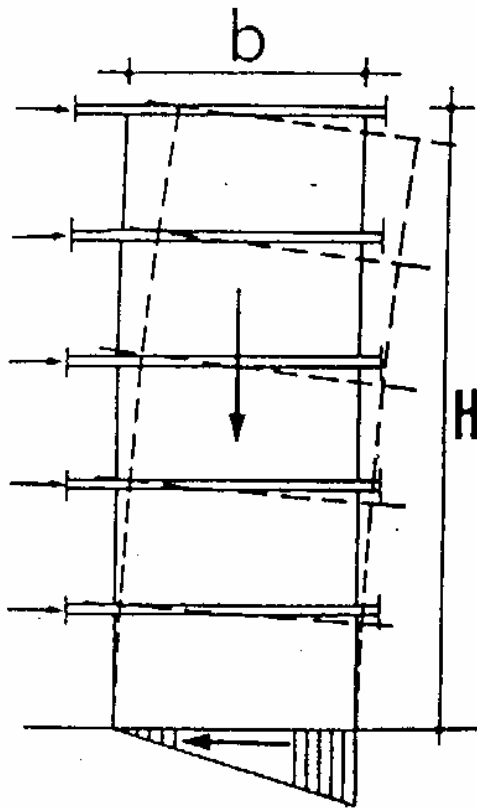
- Se no caso existirem lesões diagonais na alvenaria, é expresso pela relação T/N em que :
 - T é a força paralela à fissura;
 - N é a força normal à fissura;
- Pode ser expresso, em função da tensão vertical de compressão, pela fórmula empírica abaixo referida;
- Esta expressão, de acordo com os resultados experimentais, mostra uma diminuição do coeficiente de atrito "μ" com o aumento da tensão vertical de compressão "σ_o".

$$\mu = \frac{0,17}{\sqrt[3]{\left(\frac{\sigma_o}{f_{wc}}\right)^2}} > 2$$

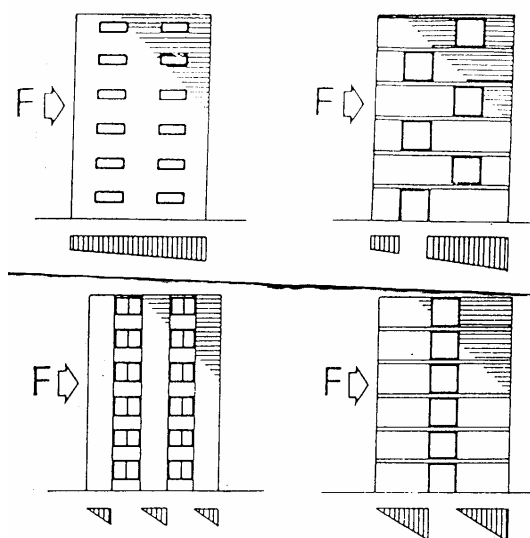
INFLUÊNCIA DA CARGA AXIAL SOBRE A DISTORÇÃO

- A tensão vertical de compressão provoca um encurtamento e uma deslocação da diagonal relativamente à sua posição original.

DISTRIBUIÇÃO DAS ACÇÕES HORIZONTAIS NAS PAREDES DE RIGIDIFICAÇÃO



- As acções horizontais actuantes sobre uma fachada longitudinal repartem-se (através dos pavimentos, que se consideram hipoteticamente como rígidos no seu próprio plano) pelas paredes transversais de rigidificação, em proporção às respectivas rigidezes.
- Se as paredes transversais estiverem ligadas a uma parede longitudinal de espessura "s", poder-se-á avaliar o aumento de rigidez considerando-se uma ala colaborante igual a "6s" e de qualquer forma nunca superior a 1/6 ou a 1/16 da altura total da parede sobreposta à secção considerada, conforme se trate de uma secção em T ou em duplo T, ou então de secções em L ou em U (*Normas USA*).



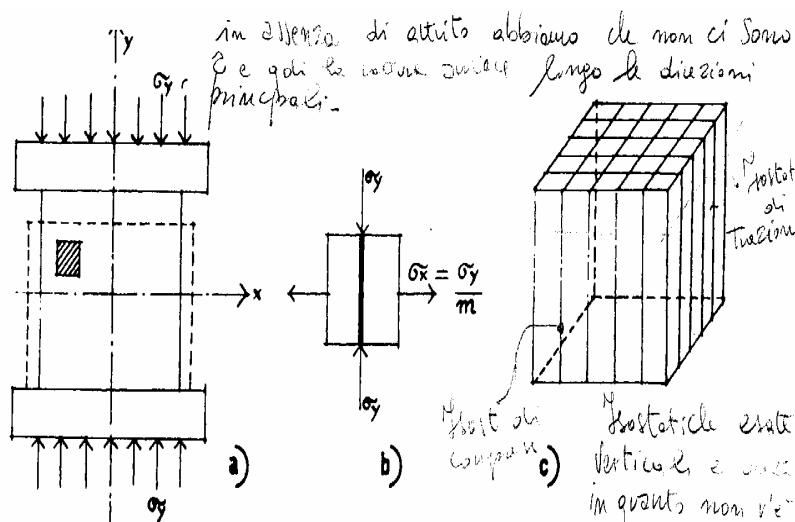
- Se a parede de rigidificação contiver aberturas de altura limitada, poder-se-á considerá-la como uma consola monolítica.
- Caso contrário (travessas de ligação com rigidez praticamente nula), considerar-se-á que a parede é constituída por duas consolas independentes.

SOLICITAÇÕES SIMPLES E COMPOSTAS NAS ESTRUTURAS DE FORMA PRISMÁTICA

Andamento das superfícies de rotura

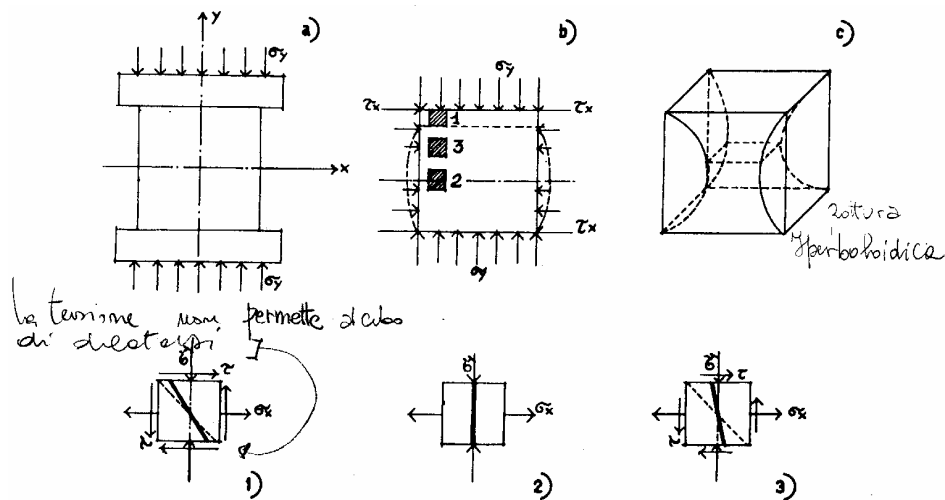
Solicitações de compressão

- A solicitação de compressão implica, superado o limite de resistência do material, rotura por “esmagamento”;
- Considere-se agora um elemento de forma cúbica (composto por um material homogéneo e isótropo) carregado por uma solicitação de compressão ao longo do eixo “y”, aplicada através de duas chapas muito rígidas, de tal forma que :
 - Possa considerar-se a carga como uniformemente distribuída;
 - Gerar-se um atrito sobre a face do cubo em contacto que não impeça ou limite a deformação transversal;
- Um elemento de uma estrutura em alvenaria pode ser considerado da mesma forma que o cubo acima referido.



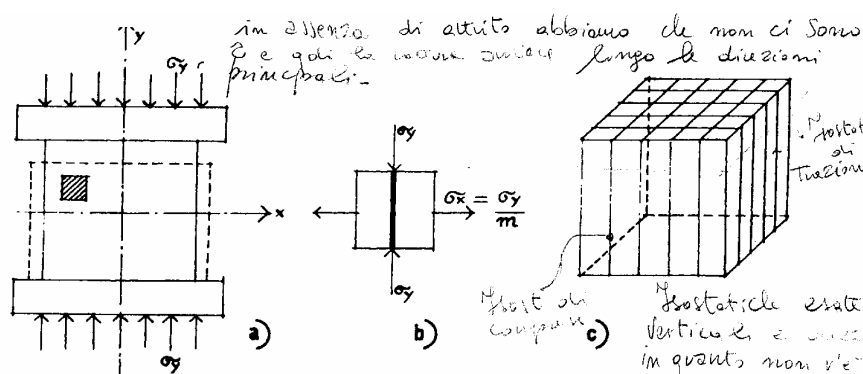
Solicitações de compressão

- Estas forças de atrito irão estar presentes mesmo nas outras fibras do cubo, com uma intensidade decrescente, até ao plano médio desse cubo, onde se anulam, sendo idênticas as dilatações transversais imediatamente acima a abaixo do tal plano médio;
- O cubo ficará conseqüentemente solicitado, e a sua rotura estabelecer-se-á segundo uma superfície hiperbólica com concavidade para o exterior, conforme representada na figura;
- Tal tipo de rotura é característica dos sólidos prismáticos que se avizinhem do nosso cubo ou então nos elementos estruturais “atarracados” os quais, tendo a possibilidade de se expandirem, estão limitados nas suas extremidades superior e inferior (lintéis em betão armado ao redor dos pavimentos);



Solicitações de compressão

- Nos casos em que estiver impedida a dilatação transversal do elemento considerado (ausência de "t"), existe uma "rotura prismática" do elemento com as isostáticas de tracção e de compressão exactamente horizontais e verticais;
- A ausência de atrito pode ser concretizada pela interposição de um material lubrificante entre a face do cubo e as chapas, que não impeça as dilatações;
- O elemento de referência irá sofrer um encurtamento no sentido dos "y" e uma dilatação uniforme nos sentidos dos "x" e dos "z";
- A rotura, provocada pela tensão teórica positiva $\sigma_x = \sigma_y / \mu$, irá estabelecer-se segundo planos paralelos aos σ_y e, tomado qualquer ponto elementar do sólido, ele será solicitado apenas por forças normais;



Solicitações de compressão

- Caso seja interposta uma camada de material com módulo de elasticidade inferior ao do cubo, entre as chapas de carga e a face desse cubo, irá suceder uma rotura “hiperbólica inversa” caracterizada por tensões tangenciais entre o material interposto e a face do cubo, dirigidas para o exterior do prisma assim como para o interior, como no caso sem interposição de qualquer material;
- Analisando-se, mesmo neste caso, o equilíbrio dos três prismas elementares e fazendo-se a envolvente das fracturas elementares, obter-se-á uma “hiperbolóide inversa”;
- Nas paredes suporte de carga dos edifícios, este tipo de rotura verifica-se quando entre as pedras e / ou os tijolos são interpostas juntas de argamassa excessivamente espessas; como as argamassas têm um módulo de elasticidade mais baixo que o da pedra ou do tijolo, irão deformar-se mais do que estes.

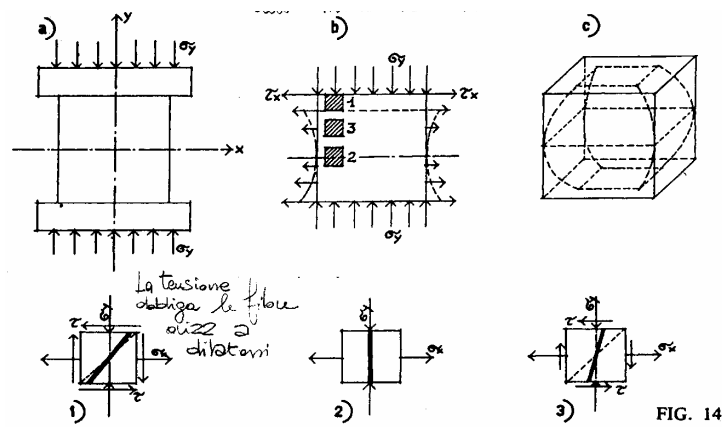


FIG. 14

Solicitações de compressão

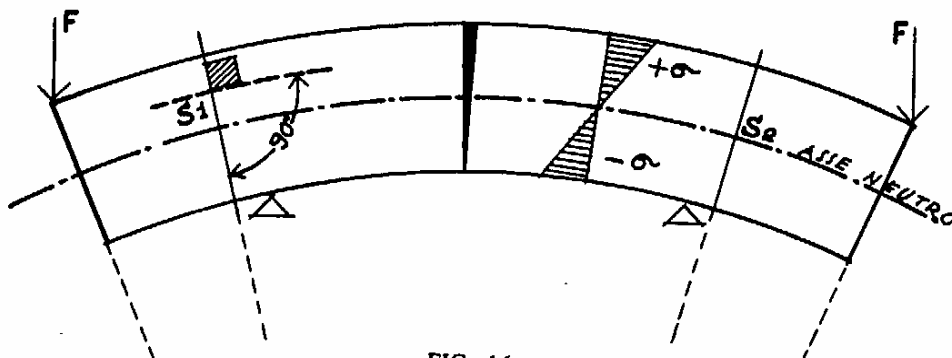
- Todos os três tipos de rotura vistos se verificam na prática nos elementos estruturais “atarracados”;
- Nas paredes alongadas os três tipos de rotura considerados podem ser encontrados nas proximidades dos cunhais ou mesmo em zonas intermédias;
- Neste segundo caso, as fracturas apresentam-se com o seu andamento clássico, apenas nos planos transversais e verticais, assim como na espessura da parede;
- A razão pela qual se verificam estes tipos de localização é consequente do impedimento da dilatação livre que, nas paredes alongadas, as massas laterais exercem sobre as intermédias;
- Neste caso, o fenómeno é exactamente o inverso da compressão;
- A rotura do cubo, supondo-se sempre a homogeneidade e a isotropia do material, faz-se segundo planos normais às forças de tracção.

SOLICITAÇÕES SIMPLES E COMPOSTAS NAS ESTRUTURAS DE FORMA PRISMÁTICA

Andamento das superfícies de rotura

Solicitações de flexão

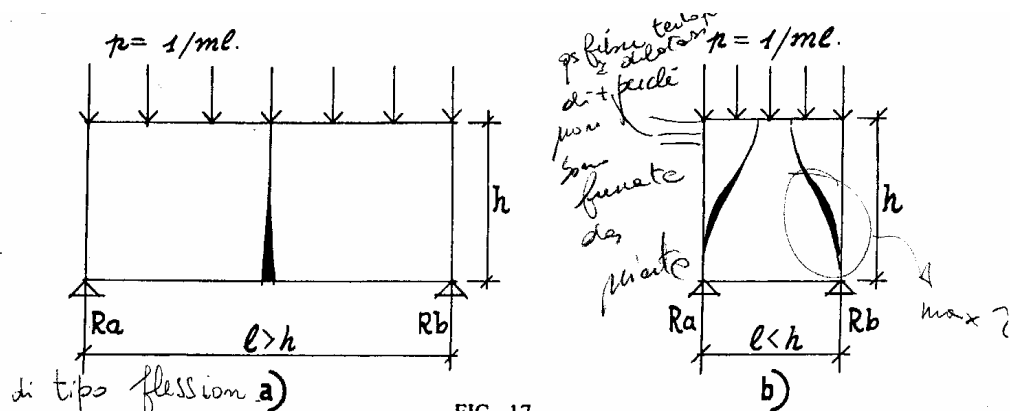
- Considera-se um sólido linear, simplesmente apoiado em dois pontos intermédios e carregado com duas forças aplicadas nas secções extremas de forma tal que tenha um momento flector constante e corte nulo no troço intermédio;
- No troço de momento constante vamos ter, portanto, uma deformação circular com centro em "o", ponto de encontro de duas secções rectas passando pelos apoios, com um prisma genérico não submetido a deformação parabólica (ausência de "f");
- Um sólido igualmente resistente à tracção e à compressão rompe na face superior ao longo de uma secção transversal recta e na face inferior por fractura prismática;
- Num sólido como a alvenaria, em que a resistência à tracção é desprezável relativamente à resistência à compressão, a rotura inicia-se na face superior continuando até à face inferior, em consequência da redução da secção resistente.



- A presença destas duas solicitações é bastante frequente na realidade, especialmente quando estamos em presença de assentamentos diferenciais nas fundações das paredes;
- A rotura por flexão e corte segue andamentos diferentes em função da forma geométrica do sólido assim como das condições de carga e das ligações;
- Em geral, quando o vão livre do sólido (que supomos de forma prismática) é notavelmente maior que a altura da secção transversal, prevalece a flexão com fracturas que começam a formar-se na face traccionada da secção de momento máximo, enquanto que se o vão for pequeno, prevalece o corte com fractura e inclinação variável e tanto mais tendente para os 45° quanto mais prevalecerem as tensões tangenciais relativamente às normais;
- Examinam-se, de seguida, sólidos prismáticos com três condições de ligação diferentes.

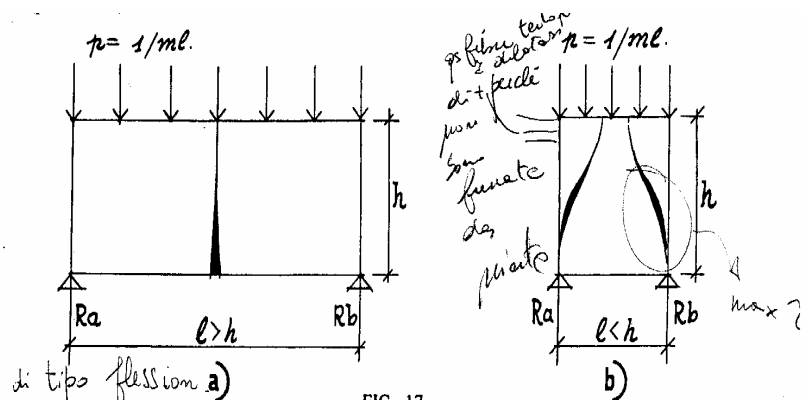
Solicitações de flexão e corte

- Trata-se, neste caso, das condições pelas quais se realiza a igualdade entre σ_{max} e t_{max} ou então a relação entre o vão "l" da viga e a sua altura "h",
- Os resultados obtidos pela condição de igualdade mostram que para termos $\sigma_{max} = t_{max}$ deve-se ter $l = h$;
- Se $l > h$ prevalecem as tensões normais e a rotura tem início na face superior mais traccionada até se propagar a toda a altura do sólido;
- Se $l < h$ prevalecem as tensões tangenciais e as fracturas deslocam-se para os apoios, partindo do eixo neutro, com um andamento tendente para os 45° em redor do eixo neutro e andamento vertical em correspondência com as fibras extremas, em virtude da ausência de tensões tangenciais.



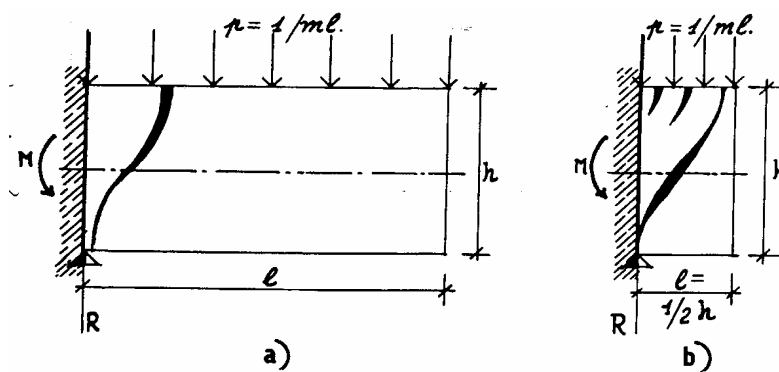
Solicitações de flexão e corte

- Trata-se, ainda neste caso, de condições pelas quais se realiza a igualdade entre σ_{max} e t_{max} ;
- Os resultados obtidos pela condição de igualdade mostram que para termos $\sigma_{max} = t_{max}$ deve-se ter $l = 3/2 h$;
- Se $l > 3/2 h$ prevalecem as tensões normais e a rotura tem início na face mais traccionada, inclinar-se-á para os 45°, em correspondência com o eixo neutro, para continuar, em direcção às fibras comprimidas, na vertical;
- Desencadeada a rotura, as secções de encastramento ficam sempre menos capazes de resistirem e a viga comportar-se-á como simplesmente apoiada;
- Se $l < 3/2 h$ prevalecem as tensões tangenciais e as fracturas assumirão a configuração indicada na figura.



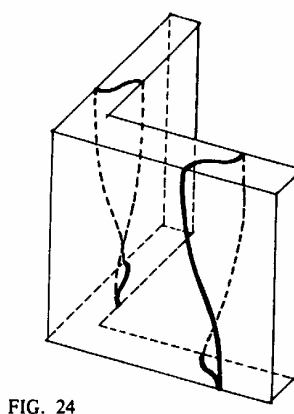
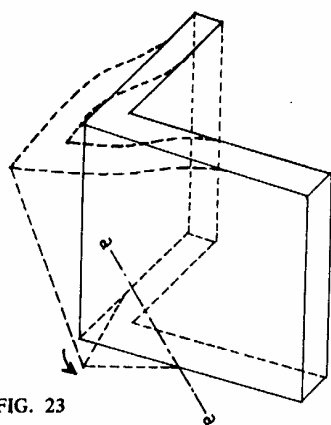
Solicitações de flexão e corte

- Trata-se, também neste caso, de condições pelas quais se realiza a igualdade entre σ_{max} e t_{max} ;
- Os resultados obtidos pela condição de igualdade mostram que para termos $\sigma_{max} = t_{max}$ deve-se ter $l = 1/2 h$;
- Se $l > 1/2 h$ prevalecem as tensões normais e a rotura tem início na face mais traccionada, inclinar-se-á para os 45°, em correspondência com o eixo neutro, para continuar, em direcção às fibras comprimidas, na vertical;
- Se $l < 1/2 h$ prevalecem as tensões tangenciais e as fracturas assumirão a configuração indicada na figura.



Solicitações de flexão, corte e torção

- Acontece frequentemente existir, nalguns elementos estruturais, a presença simultânea destas três características de solicitação;
- Nas estruturas em alvenaria, a rotura por solicitação composto por flexão, corte e torção verifica-se quando existem assentamentos nas fundações nos ângulos dos edifícios;
- Nestes casos, o assentamento imprime a uma ou a ambas as paredes, além das solicitações de flexão e de corte, também outra de torção,
- A fissuração terá uma inclinação em direcção ao assentamento nas paredes exteriores e uma inclinação no sentido oposto nas paredes interiores, por efeito da solicitação de torção.



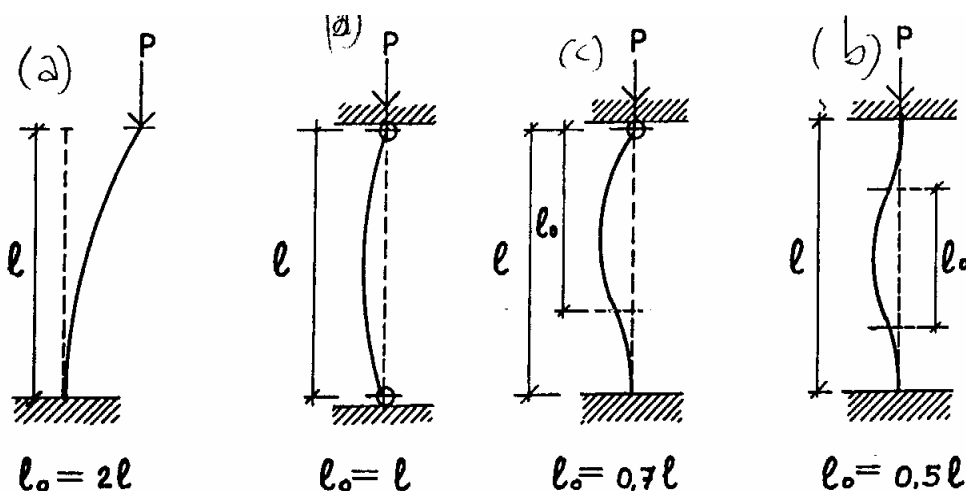
Flexão composta com compressão e carga de ponta

- Se num elemento vertical em alvenaria, a resultante das cargas, apesar de ser vertical, não passar pelo plano médio ou pelo baricentro, o sólido ficará submetido a uma compressão axial e a uma flexão;
- Geralmente, os sólidos em alvenaria são elementos espessos, pelo que não se verificam fenómenos de instabilidade e as solicitações não são diferentes da soma algébrica das solicitações simples provocadas pela compressão e pela flexão, tomadas isoladamente;
- Para a segurança da estrutura em alvenaria é necessário que a resultante das cargas caia no interior do núcleo central de inércia de todas as secções transversais, para que todas as fibras estejam comprimidas, dada a escassa capacidade da alvenaria para resistir à tracção;
- A flexão composta só se consegue instalar nas alvenarias por defeitos de construção ou, mais simplesmente, quando se executam alvenarias com um paramento mais resistente relativamente a outro, com conseqüentes deformações diferenciais em função dos diferentes módulos de elasticidade;
- A carga de ponta existe quando o comprimento do elementos estrutural é de longe superior à sua menor dimensão transversal (experiências conduzidas neste sentido, demonstraram que para $l/h > 15$ verifica-se rotura por carga de ponta);
- Para sólidos lineares, usa-se a fórmula de Euler na determinação da carga crítica para a qual se verifica a rotura do material solicitado :

$$P_{crit} = \frac{\pi^2 EJ_{min}}{l_o^2}$$

Em que :

- P_{crit} é a carga crítica;
- J_{min} é o momento de inércia mínimo da secção;
- l_o é o vão livre da inflexão, o qual depende do tipo de ligação nas extremidades do sólido.



- As lesões provocadas pela flexão composta podem classificar-se em três casos típicos :
 - O primeiro diz respeito ao caso do paramento exterior com material mais resistente;
 - O segundo ao caso de tramos ou paramentos mais resistentes relativamente ao núcleo central cheio com alvenaria irregular e menos resistente;
 - O terceiro diz respeito aos guarnecimentos dos vãos ou às ombreiras das aberturas executados com blocos aparelhados e ligados à restante alvenaria, mais ou menos caótica.

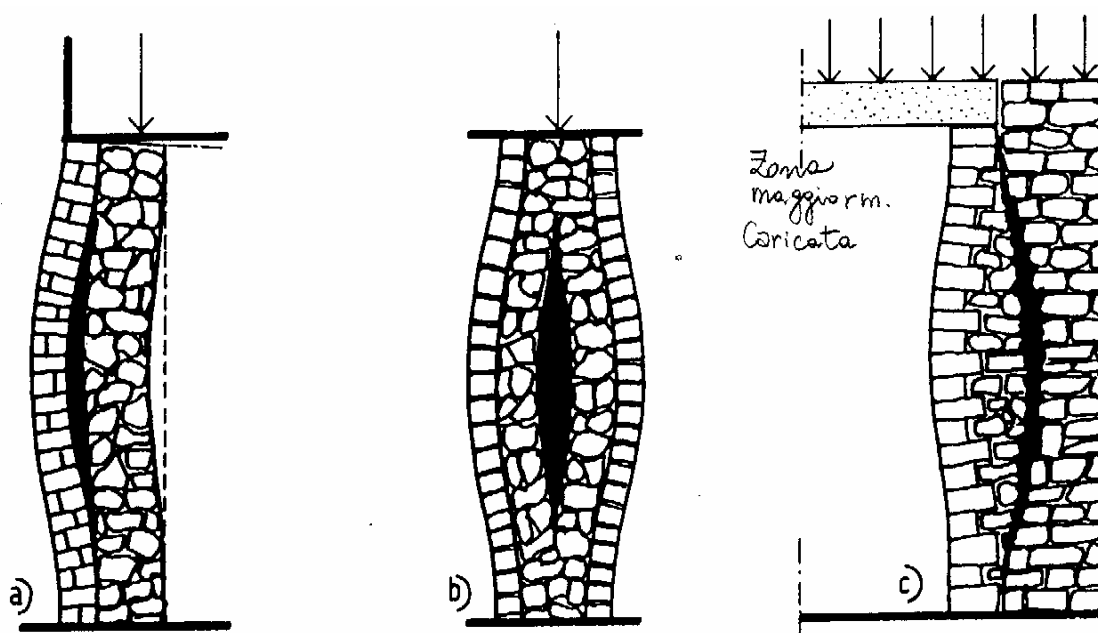


FIG 26

RUÍNA

Cedência das estruturas em alvenaria situadas acima do terreno

- Defeitos ou deficiências estáticas;
- Insuficiência do conjunto constitutivo da estrutura;
- Causa acidentais posteriores;
- Intervenções “post operam” para ampliações ou reestruturações.
- Lesões, movimentos;
- Estas manifestações podem não acontecer apesar de existir uma situação de perigo para o edifício.
- São frequentemente acompanhadas pela ruína de estruturas suportadas tais como tabiques, degraus, soleiras, parapeitos.
- Para o observador, o diagnóstico apresenta-se difícil quando se verifica a sobreposição de diversos efeitos.
- Assim, deve ser efectuada uma distinção pontual entre os vários efeitos para a identificação da ruína principal.

Quais são os tipos de ruína mais vulgares

- Assentamento;
- Esmagamento;
- Flexão composta com compressão;
- Impulso horizontal;
- Depressão das estruturas horizontais;
- Perturbações de origem vibratória;
- Perturbações de origem sísmica.

Influência mútua entre tipos de ruína

- Qualquer tipo de ruína origina, em geral logo nas suas primeiras manifestações, fenómenos reflexos consequentes de outros tipos de ruína que, então, têm como consequência um acréscimo de importância do tipo de ruína original.

Assentamento

- Também chamado de acomodação;
- É o fenómeno pelo qual um sólido em alvenaria, durante a sua construção, sofre uma translação vertical;
- Tal translação vertical é consequente ao abatimento das argamassas e à compressão do terreno de fundação sob as cargas.
- O fenómeno começa a verificar-se quando a argamassa inicia a sua presa e quando a carga começa a agir sobre o terreno de fundação.
- O fenómeno interrompe-se quando a argamassa fica endurecida e a carga fica repartida pelo terreno;
- A compressão, sob a carga crescente da alvenaria em construção, produz um assentamento muito modesto;
- O abatimento é a retracção que a argamassa sofre pela acção da carga crescente, à medida que a estrutura se eleva.

O abatimento da argamassa

- É influenciado por vários factores, tais como :
- Espessura das juntas de argamassa;
- Qualidade da argamassa e demora da sua presa;
- Variações no volume da argamassa conforme a perda de água;
- Número de juntas;
- Altura da construção;
- “Entulhamentos” prejudiciais entre novas e velhas construções no caso de intervenções sucessivas.

Lesões por assentamento

- Em geral, pode-se afirmar que as lesões devidas ao assentamento não causam preocupações relevantes para a estabilidade da construção, embora devam ficar sob observação durante algumas semanas.

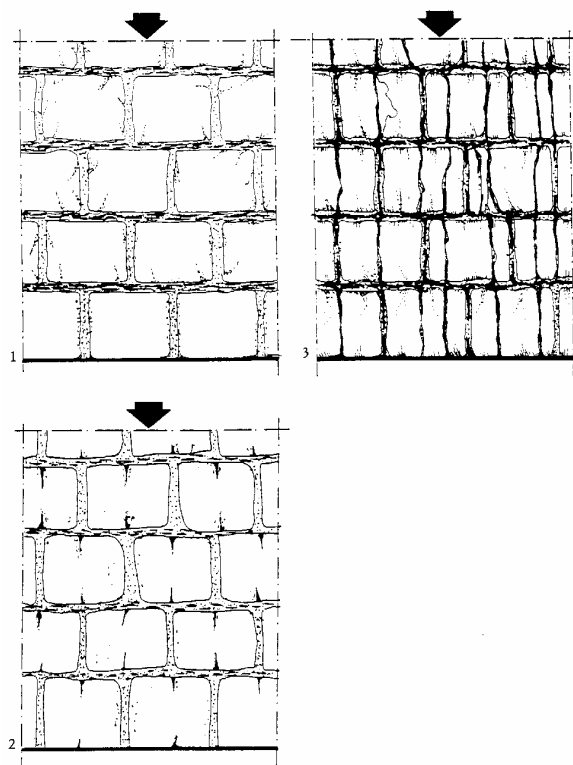
Esmagamento

- Verifica-se quando a estrutura em alvenaria não resiste, numa determinada zona, às cargas a que está submetida;
- Provoca uma tensão de compressão que supera a capacidade de resistência da alvenaria;
- Os materiais constituintes da alvenaria são reduzidos a pequenos fragmentos.

Causas do esmagamento

- Insuficiência da secção transversal por defeito de projecto, por subtracção sucessiva de material, por emprego de argamassas de má qualidade ou por defeito das ligações transversais;
- Ou então : vetustidade ou construção imprópria que fizeram diminuir a carga de rotura do material, aumento da carga em consequência de sobreconstruções ou de instalações pesadas, transferência de cargas devidas a outras situações de ruína;
- Heterogeneidade da secção resistente.

Esmagamento



- A fissuração apresenta-se conforme às linhas de tensão máxima com um andamento quase paralelo;
- Nos estados mais avançados, aparecem fenómenos de convexidade nos paramentos;
- Nos estados avançados (anteriores ao colapso) também podem aparecer lesões horizontais.
- Primeiro desagregam-se as argamassas, depois acontece a rotura das pedras e, por fim, o verdadeiro e propriamente dito esmagamento.
- No caso de argamassas de muito boa qualidade ou no de paredes duplas com preenchimento interno, pode acontecer a rotura de pedras sem acontecer primeiro a rotura da argamassa.

Argamassas

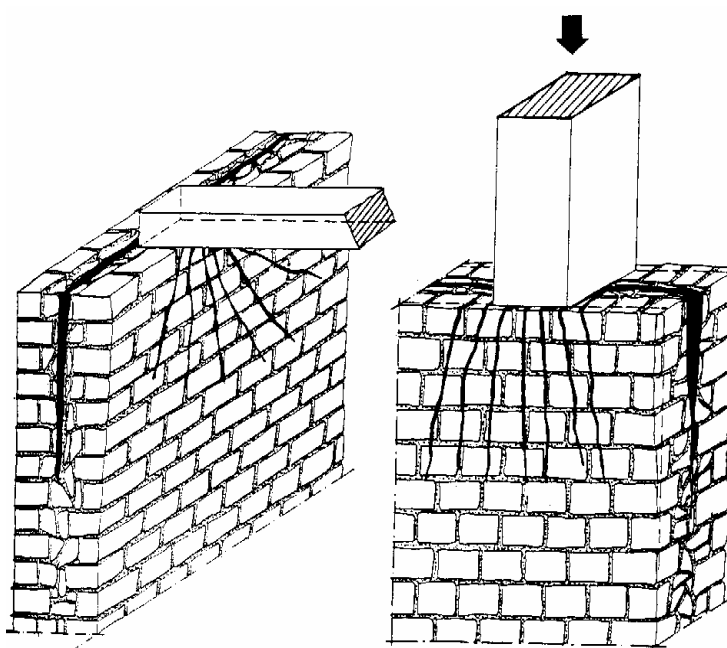
- A degradação das argamassas consequente da vetustidade contribui de uma forma determinante para o enfraquecimento das estruturas em alvenaria;
- As argamassas perdem a sua coesão ao envelhecerem, por outro lado, podem perder a sua aderência aos materiais pétreos e assim deixarem de fazer ligação;
- A coesão e a aderência anulam-se com o tempo, mais ou menos rapidamente, em consequência da composição da própria argamassa, da sua manipulação e da utilização que com ela se fez.
- A argamassa que perdeu a sua coesão torna-se pulverulenta, esfarelando-se entre os dedos.
- A espessura das juntas em argamassa influencia de maneira inversamente proporcional na resistência das alvenarias.

Identificação do esmagamento

- Batendo-se com um martelo, obtém-se um som abafado;
- O martelo não ressalta;
- Retirando-se uma camada superficial da alvenaria e repetindo-se a percussão, podemos avaliar se o fenómeno é profundo ou superficial.

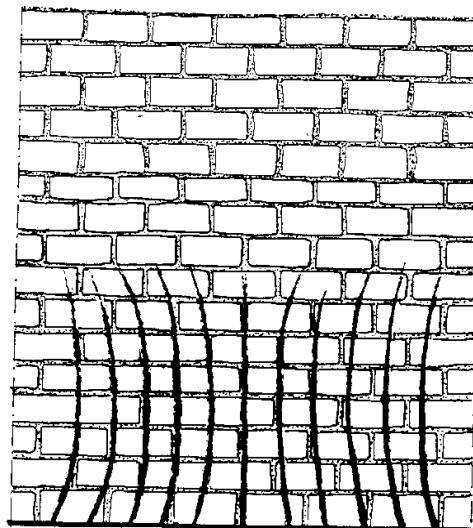
Esmagamento por sobrecarga localizada

- Na figura ao lado representa-se o caso de um esmagamento por sobrecarga localizada;
- A fissuração é vertical ou inclinada a 45° na zona imediatamente por baixo da carga;
- A fractura determina-se no plano médio, sempre imediatamente por baixo da carga;
- Em geral, a estabilidade do edifício não costuma ser comprometida por um único episódio de carga localizada excessiva.



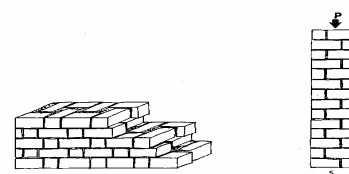
Esmagamento pelo peso próprio

- As fissuras são quase paralelas e dirigidas como a carga.
- Naturalmente, manifestam-se na parte mais baixa da parede.

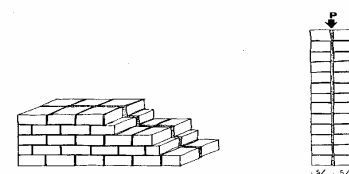


Flexão composta com compressão

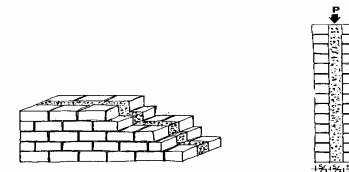
- É uma solicitação muito perigosa para as estruturas em alvenaria;
- O sólido em alvenaria solicitado por carga de ponta pode entrar em rotura por efeito da flexão composta com compressão antes de reunir as condições para o esmagamento;
- O defeito construtivo da alvenaria conseqüente de uma ligação transversal deficiente pode ocasionar patologias perigosas provocadas pela flexão composta (ao longo da altura da parede, a sua espessura pode ficar partida pelo meio em conseqüência de uma deficiente travacção da própria alvenaria);
- O defeito de heterogeneidade da secção em alvenaria também pode predispor uma parede para uma ruína por flexão composta;
- Este tipo de ruína manifesta-se pela convexidade dos paramentos;
- A lesão é caracterizada pelo desmembramento da estrutura em diversos troncos verticais.



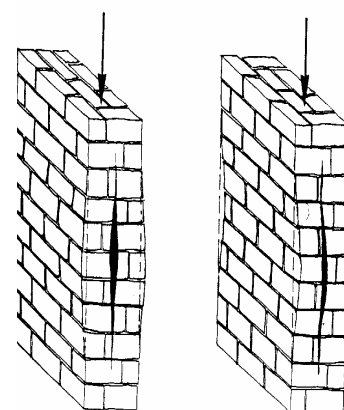
- Deficiente ligação transversal da alvenaria



- A altura do sólido em alvenaria submetido a compressão axial, supera em quinze vezes a menor das suas dimensões transversais.



- Convexidade dos paramentos

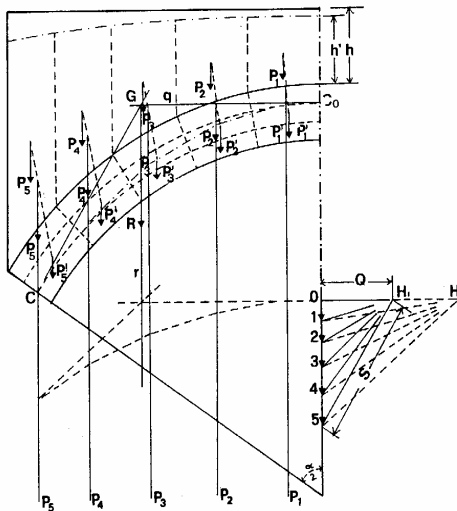


- Desmembramento em diversos troncos verticais

Estruturas curvas

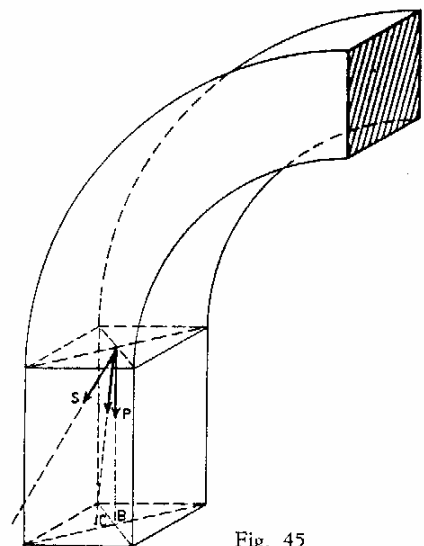
- Arcos, abóbadas e cúpulas são elementos estruturais característicos dos edifícios em alvenaria da 1ª Classe;
- Quer as abóbadas, quer as cúpulas podem ser estudados, em primeira aproximação, reconduzindo-os ao esquema estático do arco, se forem considerados na sua secção média;
- O arco é equilibrado pela pressão recíproca que as suas aduelas transmitem entre si e pela reacção que é exercida pelos suportes (pilastras, colunas, paredes) sobre os quais descarrega esse arco;

Estabilidade dos arcos

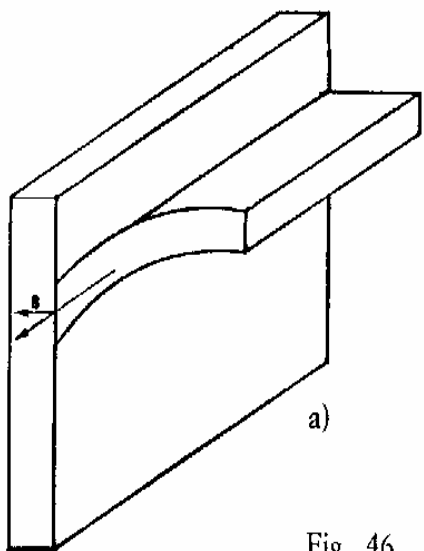


- Curva as pressões contida no núcleo central de inércia de todas as secções;
- As tensões não devem superar a carga de segurança do material;

- A resultante das pressões é inclinada e pode ser decomposta em duas forças;
- A primeira, vertical, que solicita o suporte com um esforço normal;
- A segunda, horizontal (impulso), que tende a deflectir esse suporte para o exterior.
- O centro de pressão "C" fica deslocado para o exterior (ver a figura ao lado) favorecendo a excentricidade relativamente ao centro de gravidade "B".

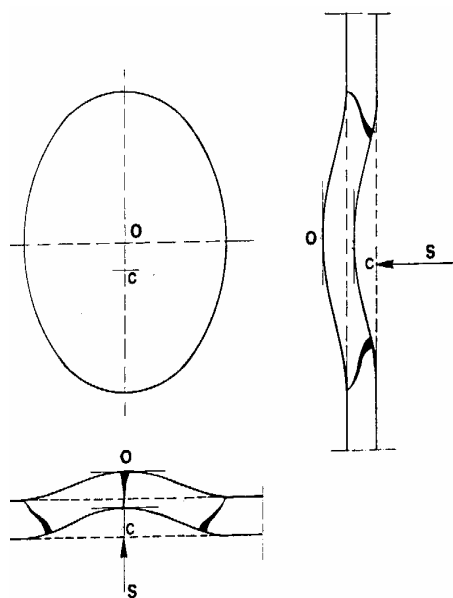


Estabilidade dos arcos



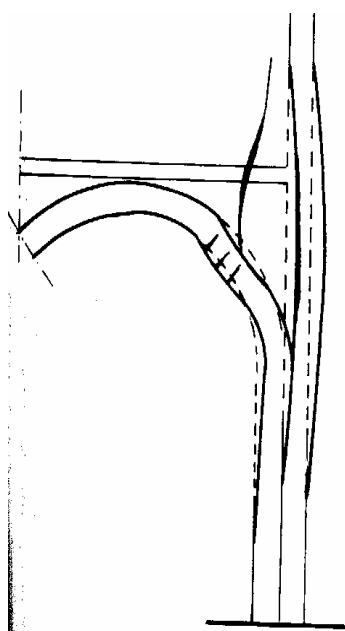
- O impulso pode actuar em direcção normal ao sólido de alvenaria;
- O paramento em alvenaria sofre movimentos de rotação e inflexões para o exterior.

Fig. 46



- A dimensão máxima da convexidade situa-se acima do centro de impulso "C".

Ruína



- As patologias consequentes do impulso normal são acompanhadas por manifestações secundárias, entre as quais a depressão da abóbada e o destacamento da estrutura interior da parede de fachada;

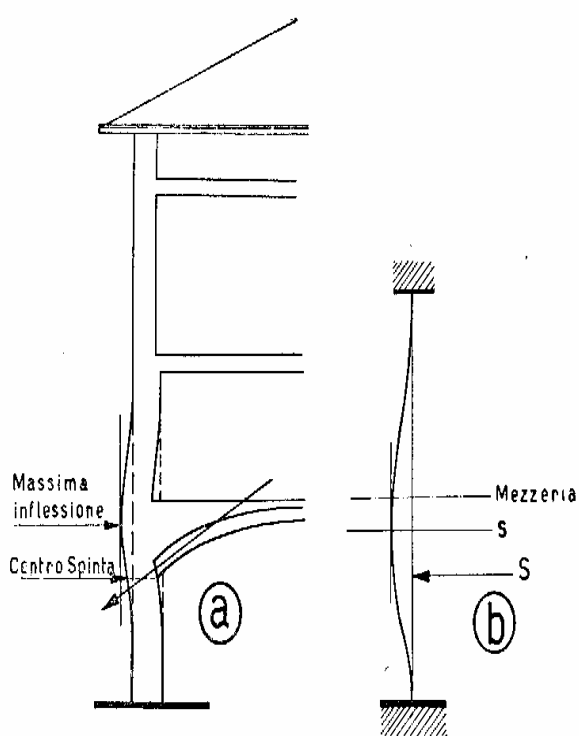
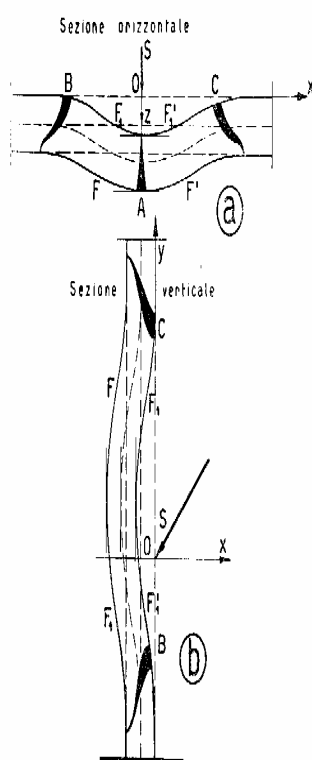


Fig. 192

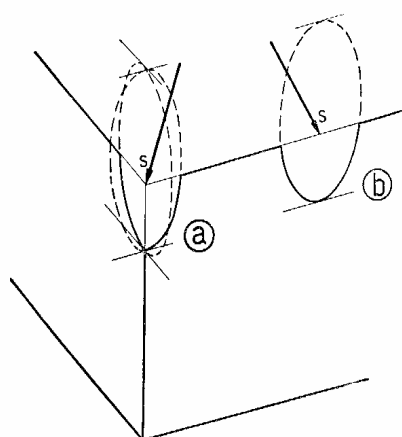
- Na figura a) pode-se observar como a secção vertical da convexidade assume uma forma sinusoidal assimétrica relativamente ao centro de inflexão com o ramo superior mais amplo que o inferior;
- Estes ramos são tanto mais desenvolvidos quanto menor for a espessura da parede, mais afastado for o perímetro da fábrica, mais forte a altura dos pavimentos, mais decadente a estrutura das alvenarias e mais numerosos os andares acima do centro de impulso (ver figura b).
- A presença de portas e janelas perturba o fenómeno de deformação mas não altera a sua fisionomia.

Fissuração



- Em “A” (secção horizontal) por ausência de corte, a fractura é normal ao paramento.
- Nas zonas laterais “B” e “C” as fracturas divergem relativamente ao centro.
- As lesões nas secções verticais são análogas. Em especial a inferior que é influenciada pela presença do peso da parede e, assim, é mais direita que a superior.

Impulso consequente de diagonais e de coxetes



- Na figura ao lado dá-se um exemplo de lesões em ângulos submetidos a um impulso consequente de uma diagonal da cobertura (a).
- Ou de um coxete (b).

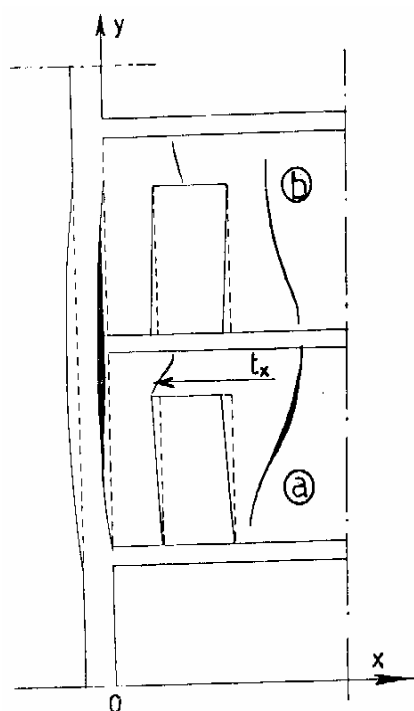
Abóbadas

- A abóbada de volta inteira, de “barrete de clérigo” e de vela não estabelecem um centro de impulso mas sim regiões mais ou menos extensas onde esse impulso é exercido;
- Se a região interessada pela inflexão for muito vasta e o impulso não estiver localizado bastante alto, a cedência pode interessar a região das fundações aumentando as compressões unitárias sobre o terreno na parte da face exterior da parede, favorecendo rotações dessas fundações.

Manifestações secundárias

- As patologias consequentes do impulso normal aos paramentos são acompanhadas pelas seguintes manifestações secundárias :
 - a) Destacamento das estruturas interiores da parede de fachada;
 - b) Deformação rômica das aberturas;
 - c) Depressões das abóbadas.

Destacamento das estruturas interiores relativamente à parede de fachada



- Manifestam-se destacamentos :
 - nos soalhos;
 - das abóbadas;
 - dos pavimentos térreos;
 - das paredes.

Destacamento das estruturas interiores relativamente à parede de fachada

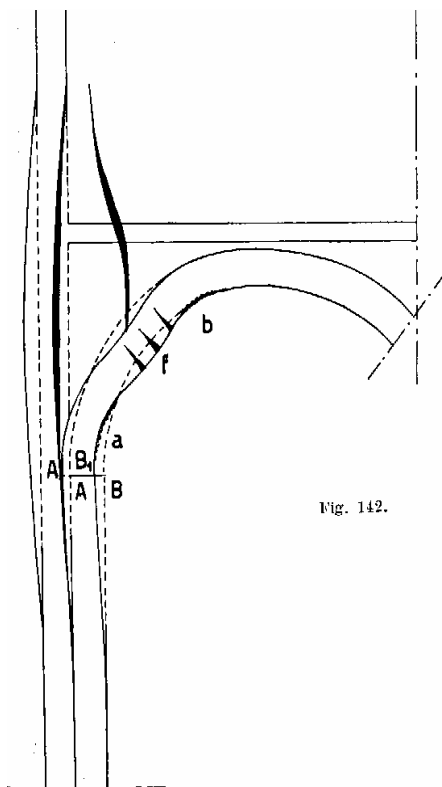
PAVIMENTOS TÉRREOS

- as fissurações manifestam-se na intersecção com a parede e ao longo de uma paralela a essa intersecção;

SOALHOS

- Em madeira : tendência para afastamento para fora dos apoios, desligamento das juntas do apainelado paralelo à parede de fechada;
- Em ferro e abobadilhas (com estruturação normal à parede) : Tendência para afastamento relativamente à viga e desligamento das juntas ao longo das directrizes das abobadilhas;
- Em ferro e abobadilhas (com estruturação paralela à parede) : o desligamento das juntas nota-se no apoio das abobadilhas sobre as vigotas de ferro, na zona central e ao longo das outras geratrizes, com perigosas manifestações de fissuração e de deformações;

ABÓBADAS



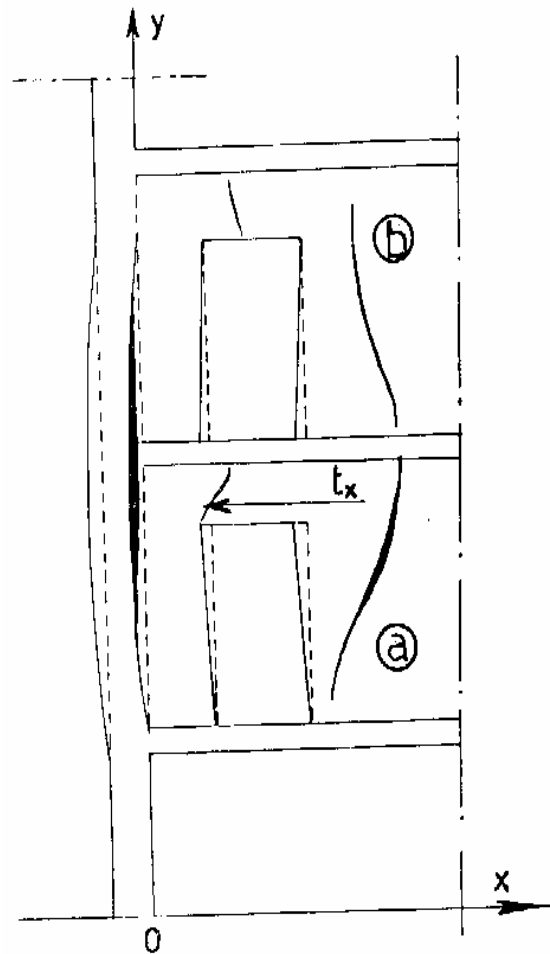
- De cruzamento de arestas ou de volta inteira (com geratrizes normais à parede) : a fissuração, em forma de destacamento nítido, manifesta-se na inserção com a própria parede. Em especial nas abóbadas de cruzamento de arestas, invadem as nervuras e propagam-se aos panos.
- Na figura mostra-se um quadro fissurativo de uma parede perpendicular à fachada.
- Na prática, são mais frequentes os ramos inferiores.
- Abóbadas de “barrete de clérigo”, de vela, etc. : os destacamentos manifestam-se nas adjacências das intersecções com a parede inflectida.

Depressões nas abóbadas

- Aparecem sempre nas abóbadas de vela e de “barrete de clérigo”;
- São frequentes nas abóbadas de cruzamento de arestas;
- São raras nos panos das abóbadas de volta inteira;
- As fracturas são paralelas à imposta, na região das tracções;
- Nas regiões contíguas à compressão, existem expulsões da pintura ou do reboco e, nos casos mais graves, de alvenaria.

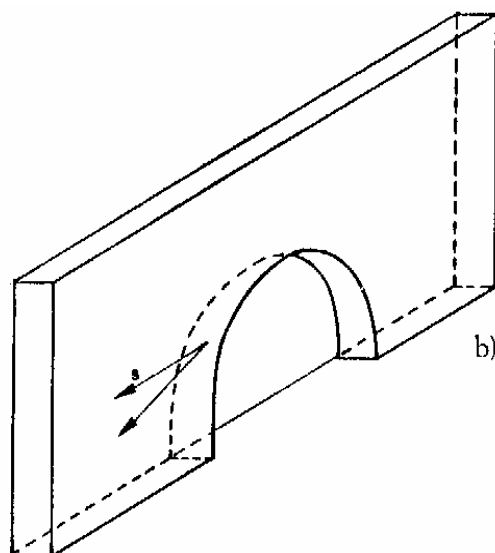
Deformação rômbrica das aberturas

- Manifesta-se nas aberturas de portas perpendiculares às paredes inflectidas, nas proximidades destas;
- Nas regiões inferiores ao “ventre”, a verga do vão tende a deslocar-se em direcção à parte inflectida;
- Nas regiões superiores quem se afasta, por vezes, é a base (ver figura ao lado).
- No ângulo superior da abertura que tende a fechar-se, verifica-se a expulsão de pequenas crostas de pintura e de reboco, por esmagamento.
- No ângulo superior que tende a abrir-se, estabelecem-se fracturas por tracção;
- Os vãos de uma folha, conforme os casos, batem na verga ou raspam no pavimento;
- Os vãos duas folhas batem com uma na verga e raspam com a outra no pavimento;
- Nos casos mais graves, a verga não permanece horizontal e inclina-se para baixo do lado da cedência.

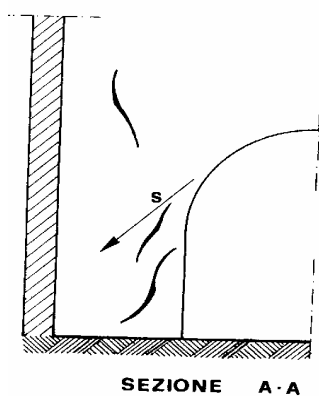
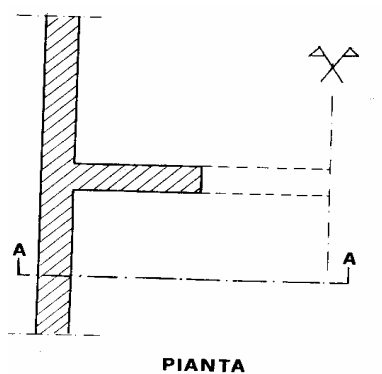


Impulso ao longo de plano médio

- O impulso pode actuar, por outra forma, ao longo do plano médio do sólido em alvenaria;
- Neste caso, a acção do impulso é menos perigosa porque a ela reage uma maior massa lateral.



Ruína



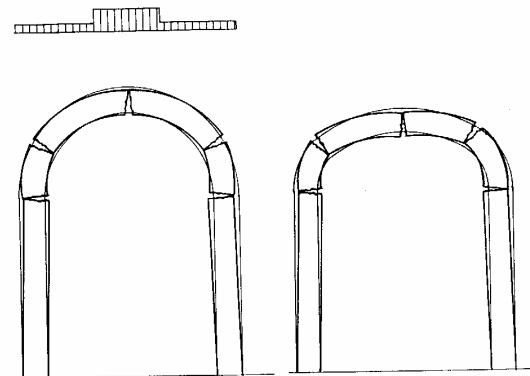
- Quando o impulso actua ao longo do plano médio do sólido em alvenaria, manifestam-se, em estados avançados, lesões por destacamento.

Suportes verticais e arcos

- Sob a acção do impulso, os suportes verticais podem ceder;
- À cedência do suporte segue-se a cedência do arco;
- A cedência da estrutura própria do arco verifica-se quando a curva das pressões se desloca para fora do núcleo de inércia, determinando esforços de tracção num dos lados e de compressão no outro.
- Podemos ter, portanto, dois tipos de deformação nos arcos :
 - 1) Depressão do fecho e subida dos rins;
 - 2) Subida do fecho e depressão dos rins.

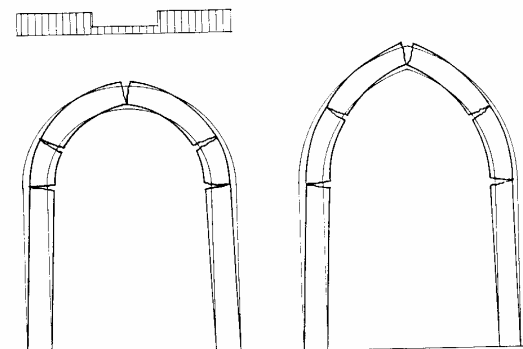
Depressão do fecho

- O arco tende a cair para o interior e o suporte para o exterior;
- Isto verifica-se quando a carga vertical gera uma reacção maior que o impulso suportável pelo suporte;
- Verifica-se nas abóbadas muito abatidas e quando a maior carga incide na zona central.



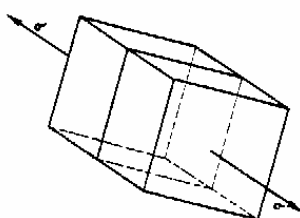
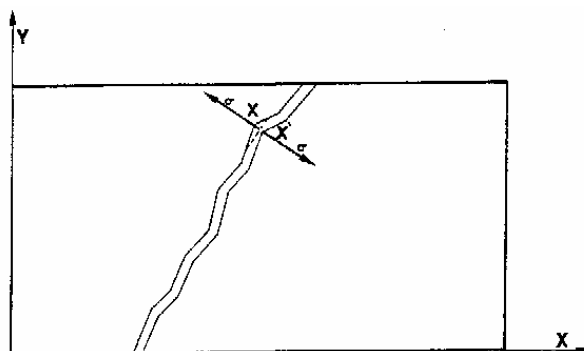
Subida do fecho

- O impulso é maior que a reacção horizontal provocada pelas cargas verticais;
- Manifesta-se nas abóbadas muito apontadas e quando a maior carga está sobre os rins.



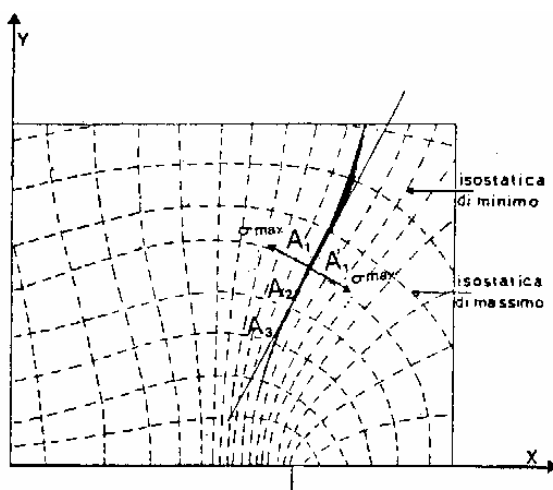
Isostáticas

- Numa fractura genérica, o ponto x da sólido em alvenaria desloca-se para o ponto x' . A trajectória $x-x'$ é a direcção da tensão principal máxima.

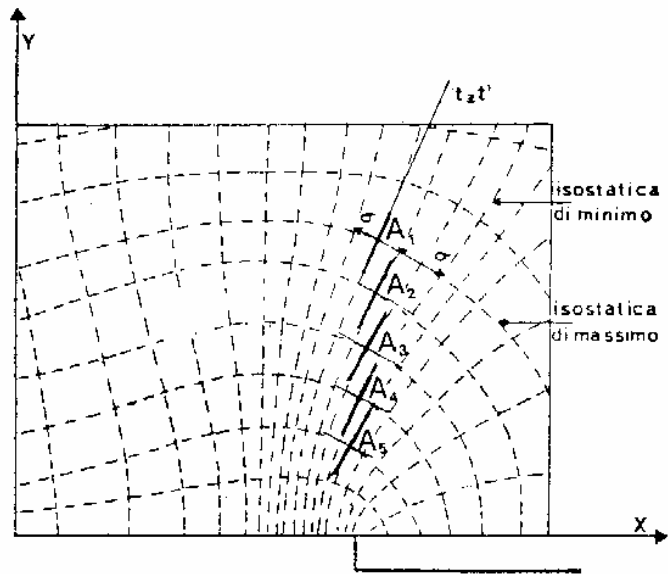


Andamento das isostáticas

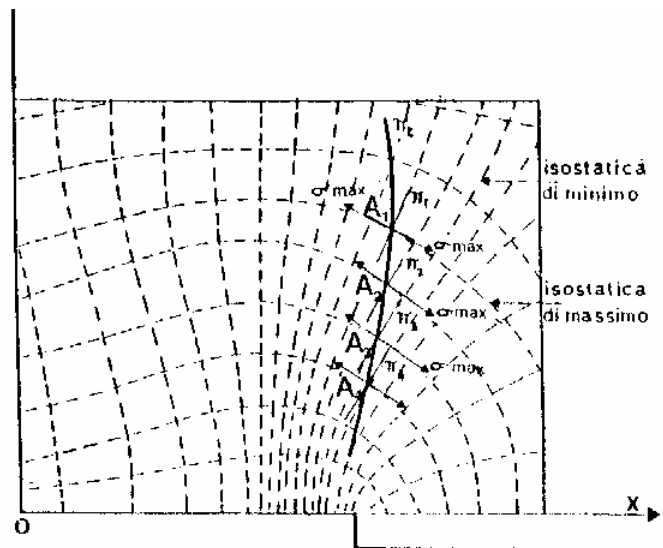
- A fractura tem origem no ponto “A” onde é maior o valor das tensões, entre todos os pontos do isostática. A fissuração manifestar-se-á apenas quando for superada a tensão de rotura.
- A fractura, portanto, propaga-se na alvenaria com ramos capilares ao longo da directriz de fissuração A_1, A_2, A_n , com o ventre na região média e ramos nas duas extremidades (fissurações com ramo único).



- As fracturas também podem dispor-se ao longo de diversas isostáticas mínimas.
- Neste caso diz-se que a fissuração é de ramos múltiplos.



- Por vezes, a fissuração também pode não seguir a direcção de nenhuma isostática.
- Nesse caso, a fissuração diz-se de ramo único fora das isostáticas mínimas.



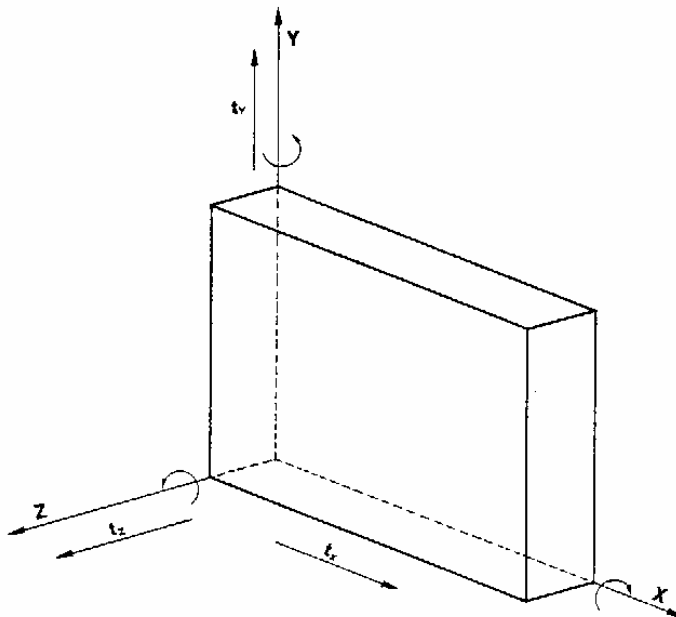
- Partindo-se, assim, das tensões, é possível determinar-se o andamento da fissuração;
- Portanto, por um procedimento inverso, através da observação e da interpretação das várias directrizes de fissuração, é possível compreenderem-se intuitivamente as tensões que actuam sobre o sólido;
- A partir das tensões que actuam, pode-se formular uma hipótese de ruína;
- A verificação de tal hipótese é efectuada através do acerto da verificação do quadro fissurativo no seu conjunto.

Movimentos da estrutura

- **Movimentos absolutos** : o movimento interessa a fábrica na sua totalidade; é um movimento rígido que não altera a forma e, havendo deslocação, deixa inalteradas as distâncias e as orientações das partículas entre si.
- **Movimentos relativos** : o movimento interessa o fabricado apenas em parte, com conseqüentes alterações da sua forma.
 - **Movimento relativo rígido** : a variação de distância acontece entre as partículas da zona que permanece no seu lugar e as da parte em movimento.
 - **Movimento relativo deformador** : quando sucede uma variação, conseqüente de flexão, até mesmo entre as partículas da parte em movimento.

Movimentos elementares

- A interpretação do movimento resultante de uma estrutura pode ser efectuada através da análise de alguns movimentos elementares;
- Os movimentos elementares são constituídos por três translações (uma vertical e duas horizontais) e três rotações em torno dos três eixos;
- A força que provoca a translação chama-se de força de arrastamento;
- A rotação é provocada pelo momento que resulta da força de arrastamento relativamente ao centro de gravidade.



As forças de arrastamento surgem apenas no caso de movimento relativo. Isso é assim por efeito da continuidade do corpo. As forças de arrastamento desaparecem no momento em que a fractura interessa todo o sólido.

TIPOS DE RUÍNA

- Cedência das estruturas de fundação;
- Cedência das estruturas em alvenaria acima do solo;
- Cedência dos terrenos de fundação.

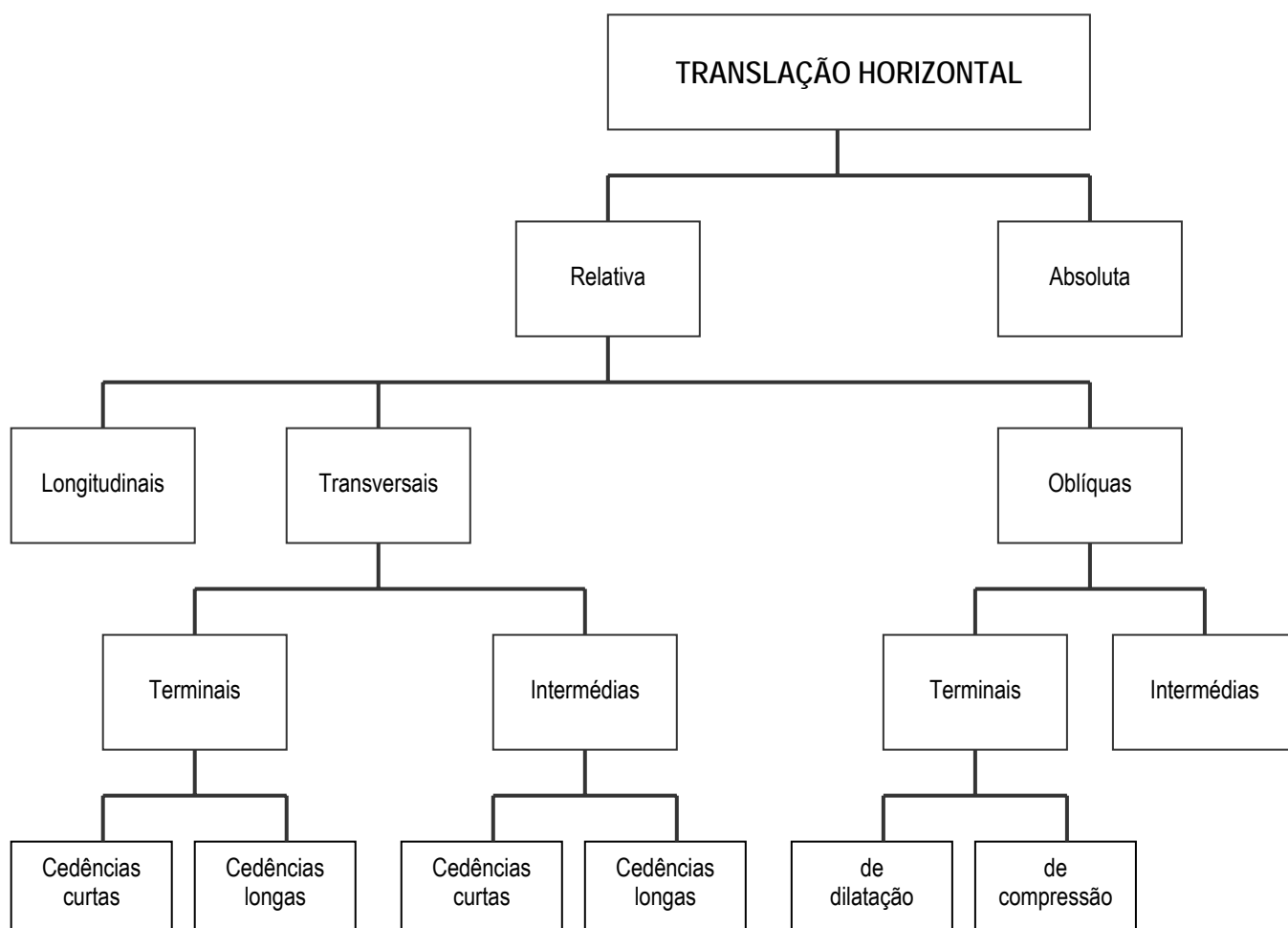
Ruína por cedência das estruturas de fundação

- Translações horizontais;
- Translações Verticais;
- Rotações.

Traslazione

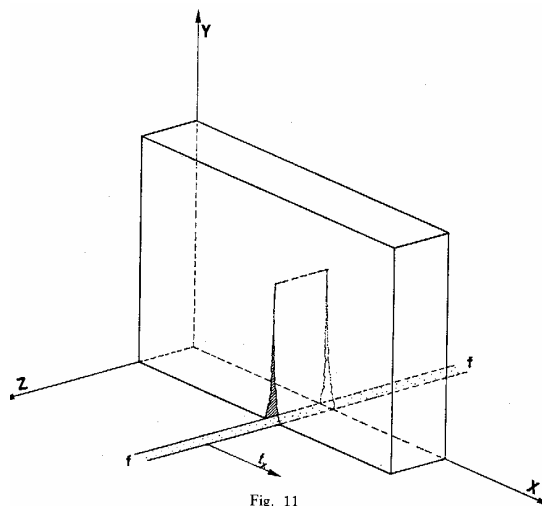
- Translação absoluta;
- Translação relativa.

MOVIMENTO DE TRANSLAÇÃO



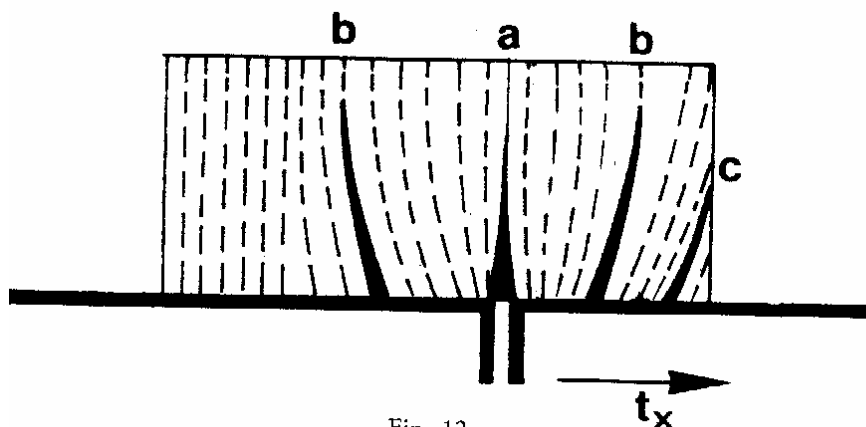
Translação Horizontal Relativa Longitudinal

- Verifica-se no plano "xz".
- Actua ao longo do eixo dos "x" sob a acção de uma força de arrastamento " t_x ";



Isostáticas

- O quadro das isostáticas em tal tipo de ruína é o representado na figura;
- Tipo a : verticais, em correspondência com o plano de apoio, amplitude decrescente de cima para baixo;
- Tipo b : inclinadas para a parte em cedência, verticais para a parte superior do sólido em alvenaria, decrescentes para baixo;
- Tipo c : como as do tipo b, mas desaparecem na extremidade livre lateral da parede com andamento tangencial a esta.



Translação Horizontal Relativa Transversal

- Aparece no plano normal ao plano médio da parede, ao longo do eixo dos "z", por acção da força de arrastamento " t_z ".
- Na figura representa-se uma translação transversal terminal, a qual foi possível pela fendilhação "f" presente no plano de assentamento do sólido a qual tornou possível, justamente, a dita translação.
- A força actuante é representada por uma solicitação de arrastamento: T aplicada no baricentro do plano de apoio da parte em movimento;

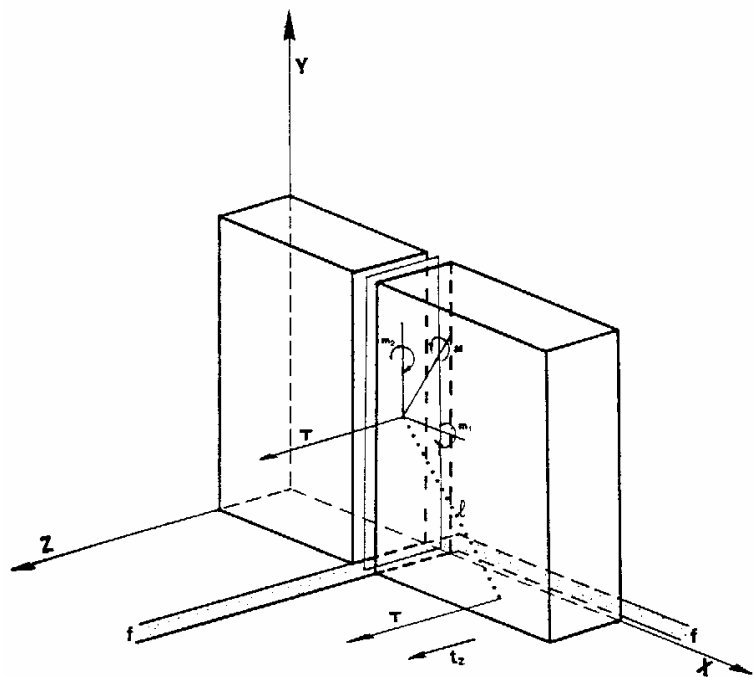
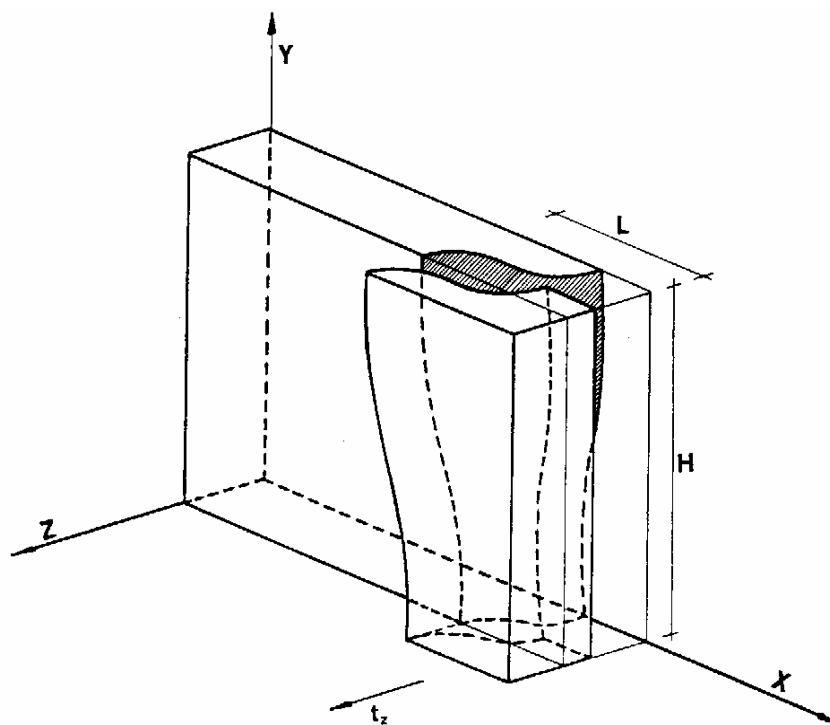


Fig. 13

- Tal força de arrastamento pode estar deslocada do plano de fractura, acrescentando-lhe o momento no plano "xy", gerado a partir dessa força pelo seu afastamento "l".
- O momento "M" pode ser decomposto, assim, em dois momentos elementares "m₁" e "m₂", com eixos paralelos respectivamente aos eixos dos "x" e dos "y".
- A secção no limite da cedência está submetida a um esforço de corte "T" e a um momento flector "m₁" e a um momento torçor "m₂".
- O plano de fractura apresentará características intermédias entre as consequentes do corte, da flexão e da torção.
- Por outro lado, o plano de fractura será diferente relativamente ao tipo de cedência (comprido, médio ou curto) definido relativamente à altura da parede interessada por um parâmetro de comparação $p = 1,5$.

Translação Horizontal Relativa Transversal Cedência Curta – $L < 1,5 H$

- Todo o tronco em movimento participa na deformação;
- A secção que limita a cedência, depois da rotura, apresenta um desenvolvimento superficial encurvado (curvatura múltipla) com dimensões crescentes de baixo para cima;
- Nas paredes verticais aparecem fissuras em gola, invertidas nas duas faces opostas, com andamento mais rectilíneo. No plano horizontal, a fractura terá a forma de um S inclinado a 45° , com os vértices perpendiculares ao contorno.



Translação Horizontal Relativa Transversal Cedência Longa – $L > 1,5 H$

- Não fica interessado na ruína todo o trecho de parede de comprimento “L”.
- Participa, no entanto, a zona mais vizinha do limite da cedência.
- São predominantes as solicitações de corte e de flexão já que a componente horizontal consequente do momento torçor é muito pequena.

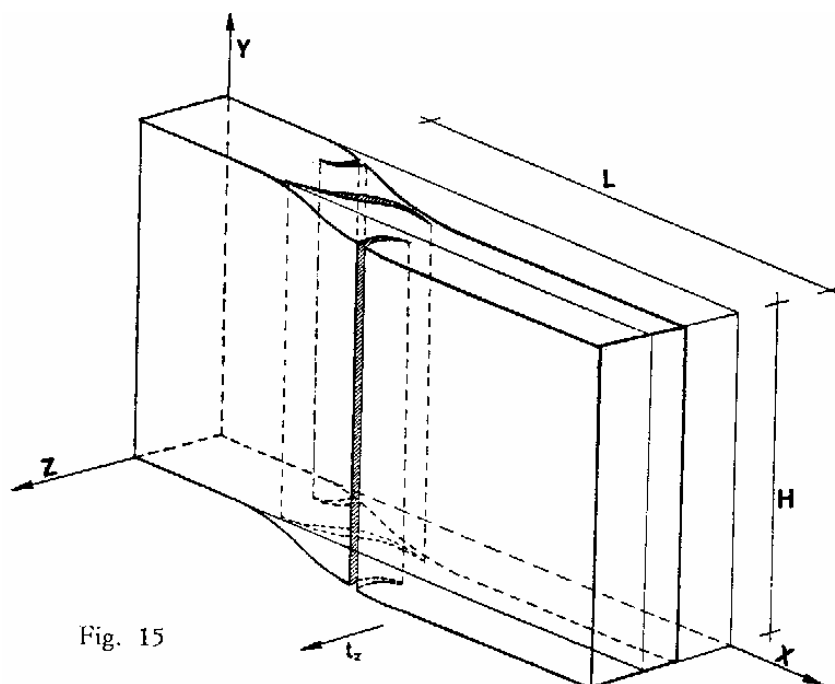


Fig. 15

- Aparecem inicialmente fissurações consequentes da flexão (f_2) e do corte (f_1).
- Com a progressão da ruína desenvolver-se-ão mais rapidamente as lesões por corte (f_1), e a rotura verificar-se-á exactamente em correspondência com este.

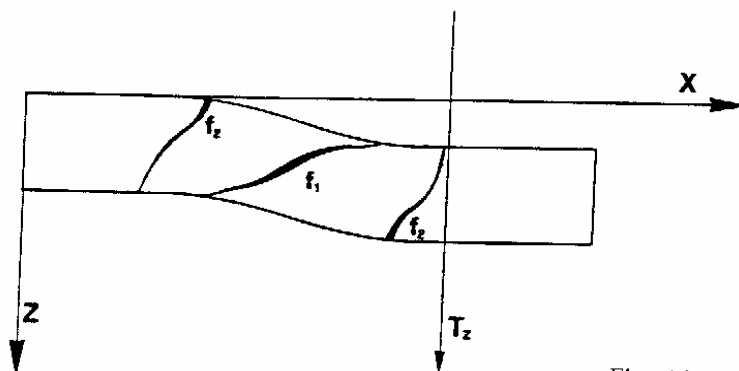


Fig. 16

Translação Horizontal Relativa Intermédia Cedência Longa – $L > 1,5 H$

- A zona de fábrica interessada no movimento fica comprimida entre duas que permanecem imóveis;
- Na parede vertical, a maior amplitude da zona interessada pela lesão indica o verso do movimento e, ao mesmo tempo, da eventual fractura no terreno;
- As lesões têm um andamento inclinado com inversão da curvatura.

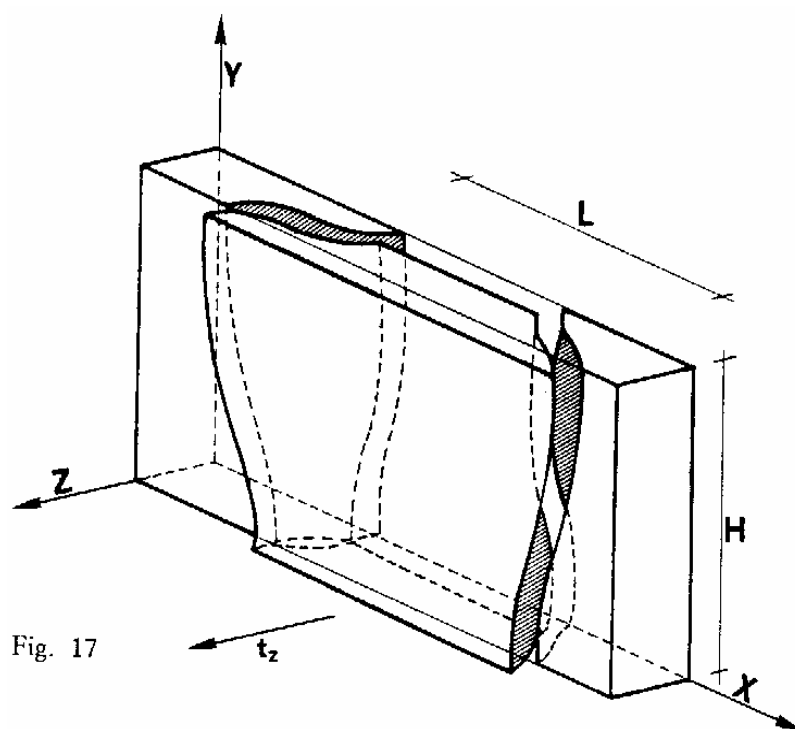


Fig. 17

Translação Horizontal Relativa Intermédia Cedência Curta – $L < 1,5 H$

- A força de arrastamento “ t_x ” interessa apenas uma parte do sólido de alvenaria.

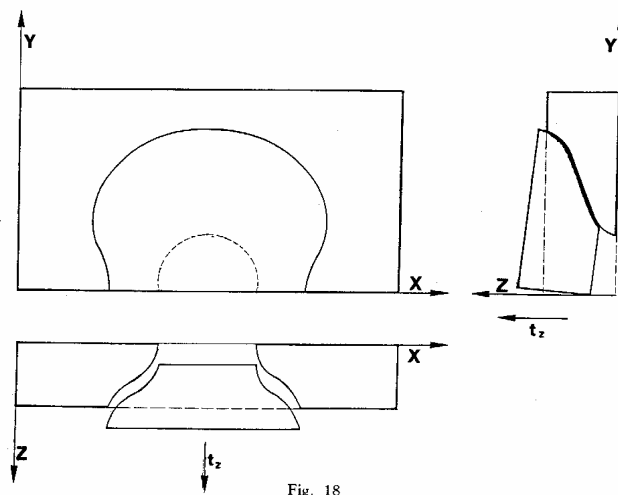


Fig. 18

- A lesão não interessa a totalidade da altura da parede;
- A superfície da alvenaria interessada é mais ampla do lado onde estão presentes as eventuais fracturas do terreno.

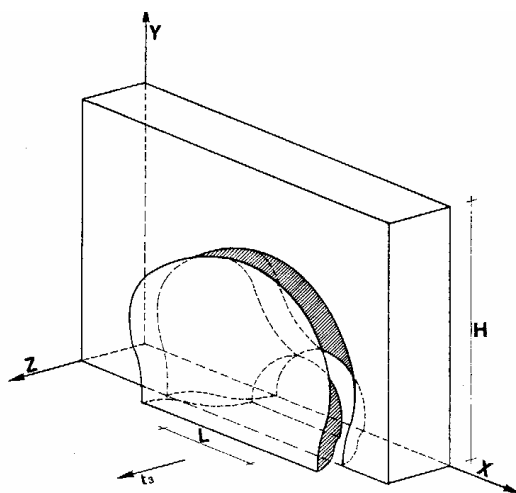
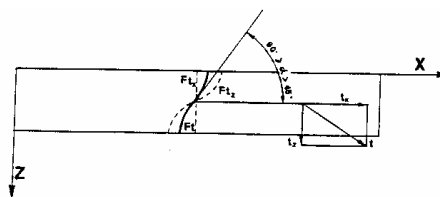


Fig. 19

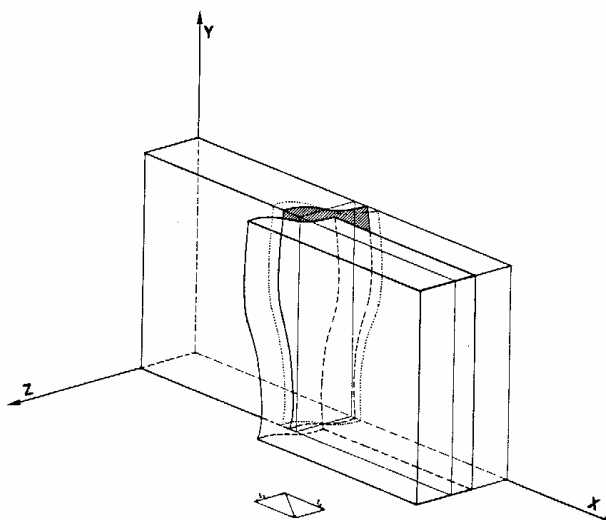
Translação relativa oblíqua

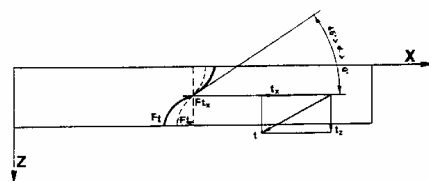
- Composição de translações elementares, transversais e longitudinais;
- Consequentemente, a fractura estabelece-se num plano intermédio da parede, entre o médio e o normal;
- A própria translação oblíqua, naturalmente, pode ser terminal e intermédia.

Translação relativa oblíqua terminal

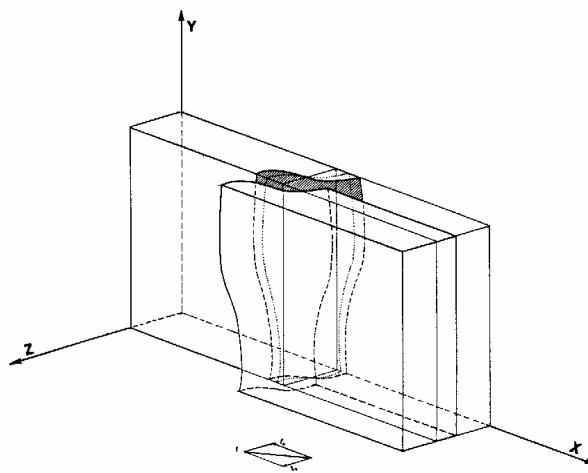


- A manifestação da fissuração é a resultante da composição das fissurações derivadas dos movimentos elementares;
- No caso da figura, a componente longitudinal tende a dilatar o sólido em alvenaria e a manifestação de fissuração nos extremos superior e inferior da parede é pouco inclinada relativamente à normal ao plano "xy".





- No caso desta figura, a componente longitudinal tende a comprimir o sólido de alvenaria e a manifestação de fissuração nos extremos superior e inferior da parede é mais inclinada relativamente à normal ao plano "xy".

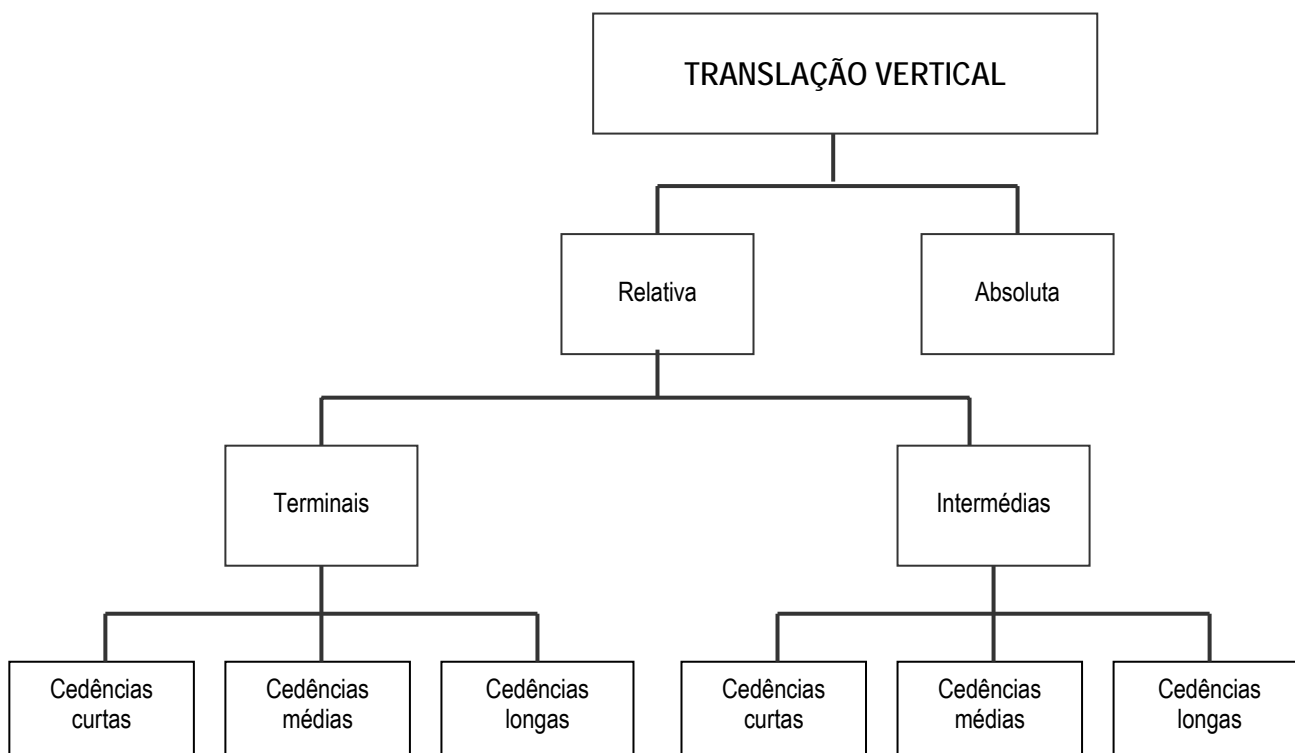
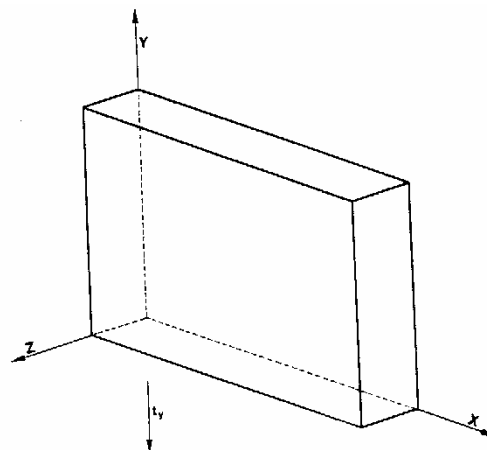


Translação relativa oblíqua intermédia

- O quadro da fissuração, por ser resultante da combinação entre duas translações elementares, terá geralmente características semelhantes ao quadro de fissuração consequente da translação transversal intermédia.

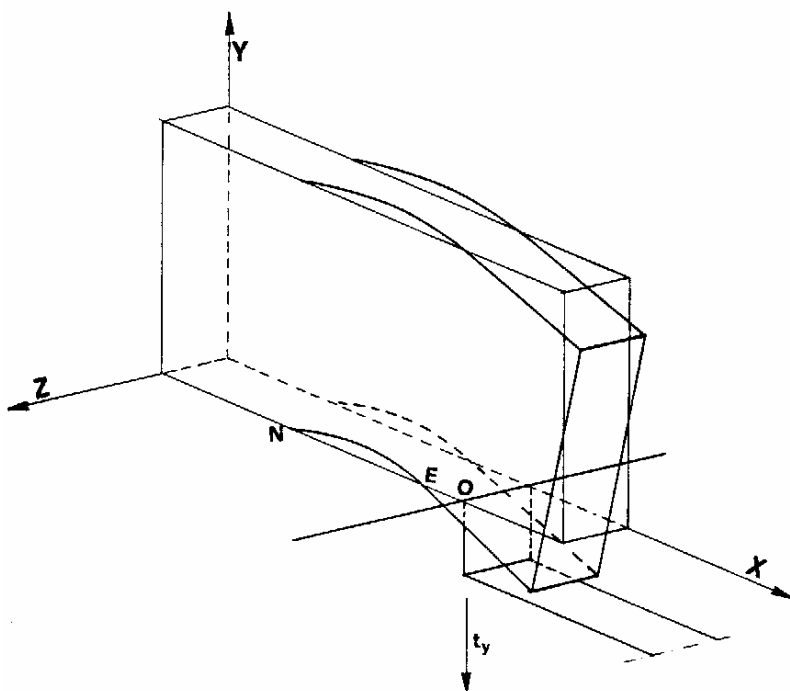
Translação vertical

- É a que se verifica na direcção do eixo dos “y”.
- Pode provocar a movimento de todo o corpo e, nesse caso, é absoluta. Em tal caso não se verificam fenómenos de lesões na estrutura.
- Quando, pelo contrário, é apenas envolvida uma parte do corpo da fábrica, estaremos em presença de uma translação vertical relativa;
- Este último movimento pode interessar um troço mais ou menos longo da parede, seja terminal, seja intermédio.

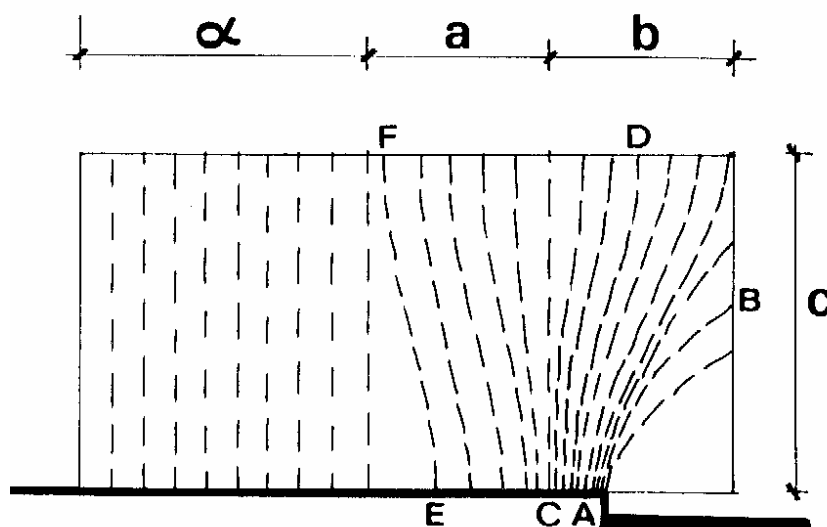


Translação relativa vertical terminal

- A deformação do sólido em alvenaria solicitado pela força “ t_y ” é a que se representa na figura ao lado.

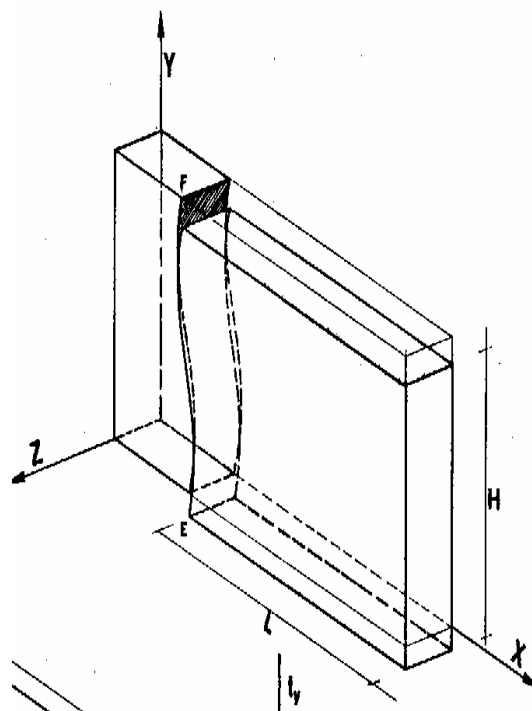


- O andamento das isostáticas é o representado na figura;
- As isostáticas de tipo “a” são características das cedências longas;
- As do tipo “b” são características das cedências médias;
- As do tipo “c” das cedências curtas;
- As verticais aparecem na zona da parede afastada da cedência.



Translação relativa vertical terminal
Cedência longa - $L > 1,5 H$

- As lesões (tipo a) são mais amplas na direcção do centro da parede;
- Endireitam-se em correspondência com o bordo superior e inferior;
- O ventre da lesão tem inclinação NO – SE (Norte eixo “y”).



Translação relativa vertical terminal
Cedência média - $L = 1,5 H$

- As lesões (tipo b) são mais amplas na direcção do centro da parede;
- Endireitam-se em correspondência com o bordo superior e inferior;
- O ventre da lesão tem inclinação NO – SE (Norte eixo “y”).

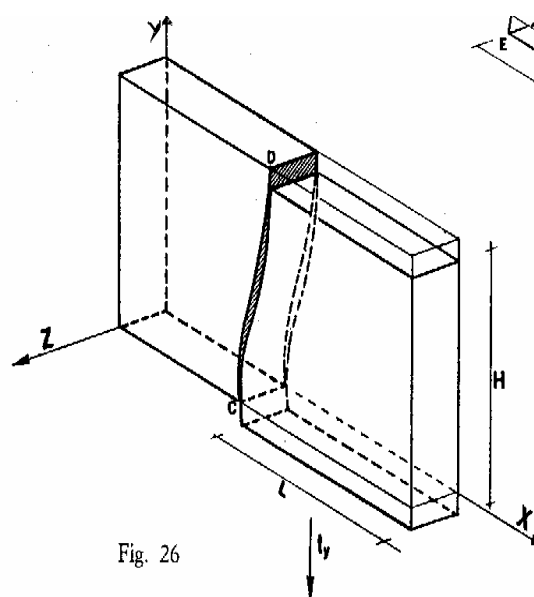


Fig. 26

Translação relativa vertical terminal
Cedência curta - $L < 1,5 H$

- As lesões (tipo c), com andamento curvilíneo, não atingem o bordo superior da parede mas confluem no seu bordo lateral.

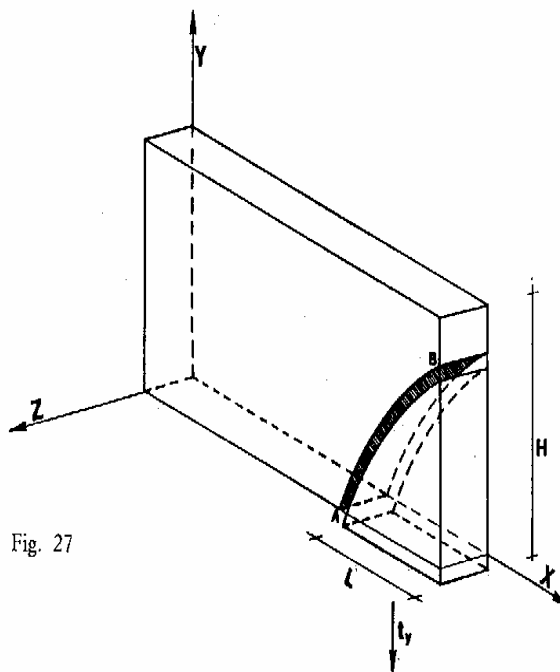
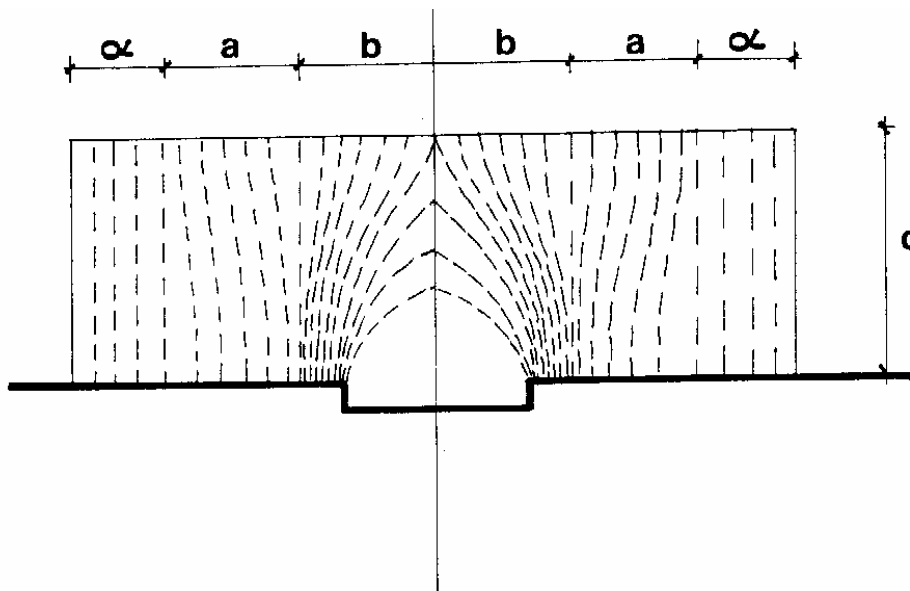


Fig. 27

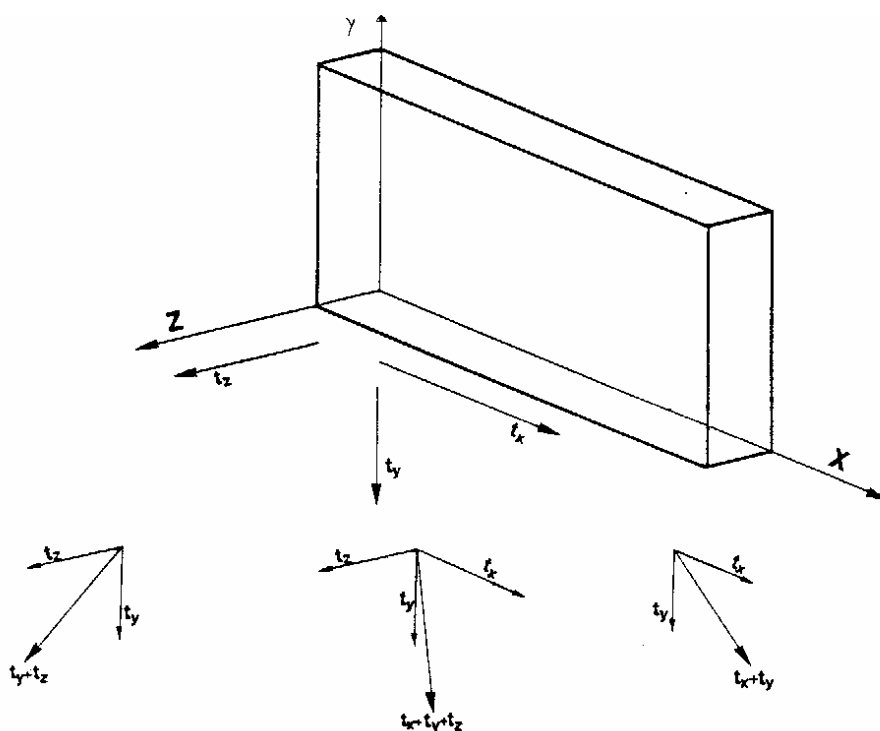
Translação relativa vertical intermédia

- Os tipos de fissuração são análogos aos observados para a translação terminal e manifestam-se de modo simétrico relativamente à zona interessada pela ruína.



Translação inclinada

- É a resultante de uma translação horizontal e uma vertical;
- Pode ser também absoluta ou relativa;
- A relativa pode ser : Longitudinal, transversal e oblíqua:
 - Longitudinal : $t_x + t_y$
 - Transversal : $t_y + t_z$
 - Oblíqua : $t_x + t_y + t_z$
- É de difícil diagnóstico. Manifesta-se geralmente com o quadro de fissuração da translação vertical, a qual é geralmente a componente dominante, evidenciando, sucessivamente ao outros quadros de fissuração.

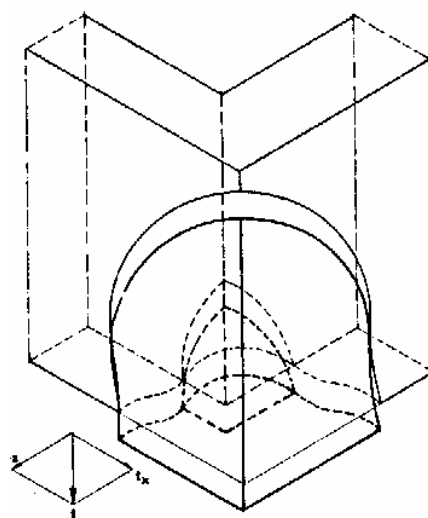


Translações em sólidos de alvenaria interligados

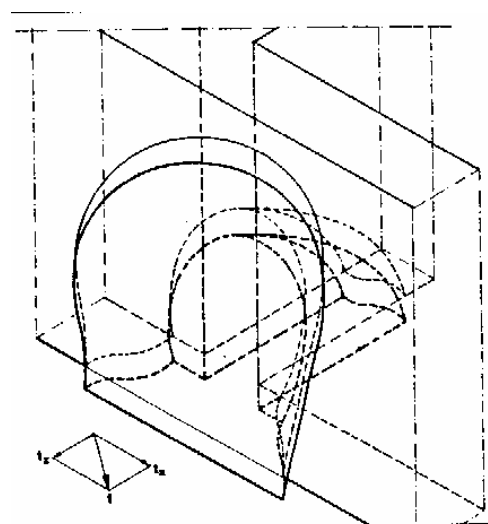
- Os três tipos fundamentais de ligação em alvenaria, são os seguintes :
 - De canto ou ângulo
 - Ligação em T (parede interior com parede perimetral exterior)
 - Ligação em cruz (cruzamento de paredes interiores).

Comportamento de paredes interligadas em consequência de translações horizontais

- De canto ou ângulo : união de duas paredes que se encontram para constituírem o cunhal de uma fábrica.

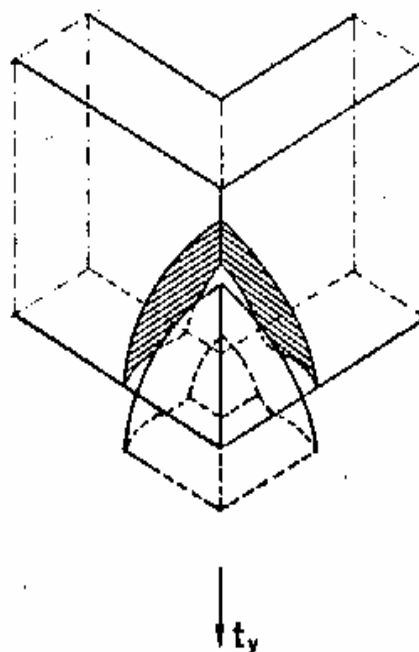


- Ligação em T
- Na ligação em cruz não se manifesta esta ruína.

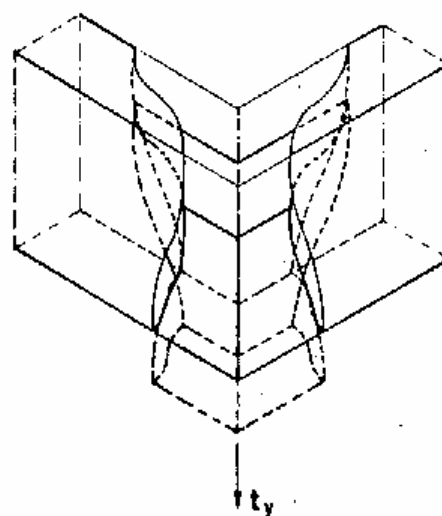


Comportamento de paredes interligadas em consequência de translações verticais

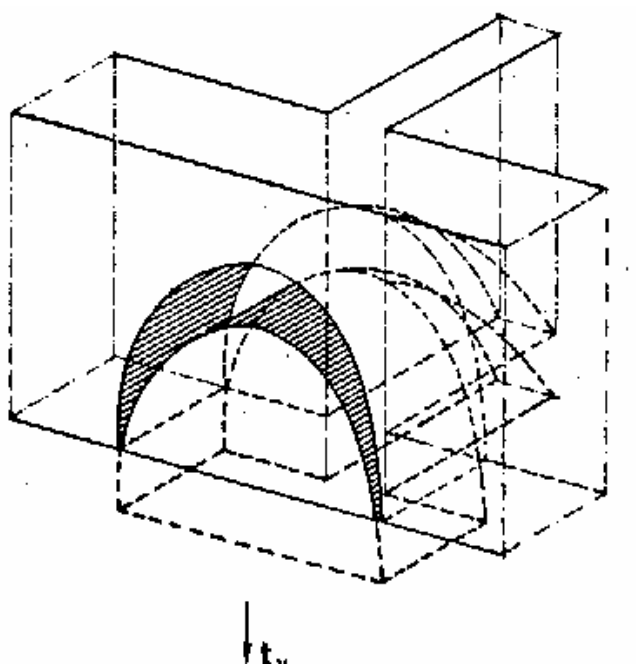
- De canto ou ângulo
- Cedência curta



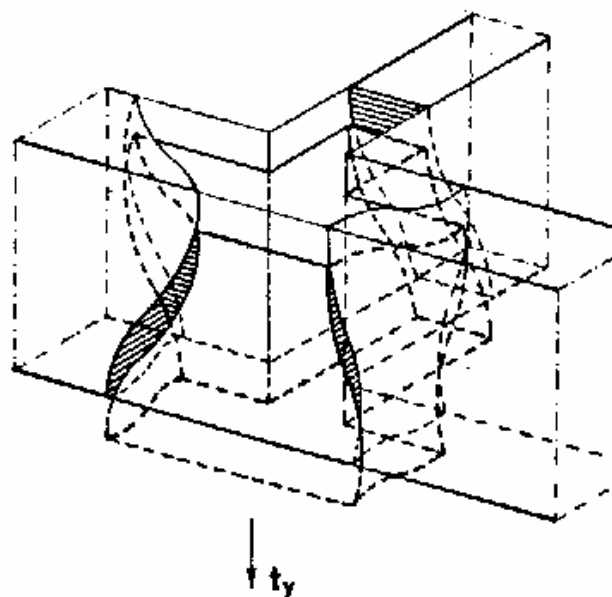
- De canto ou ângulo
- Cedência longa



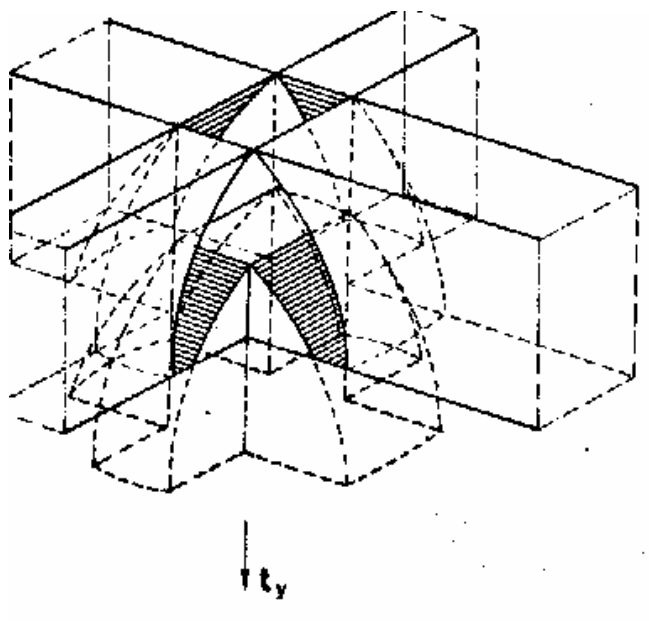
- Ligação em T
- Cedência curta



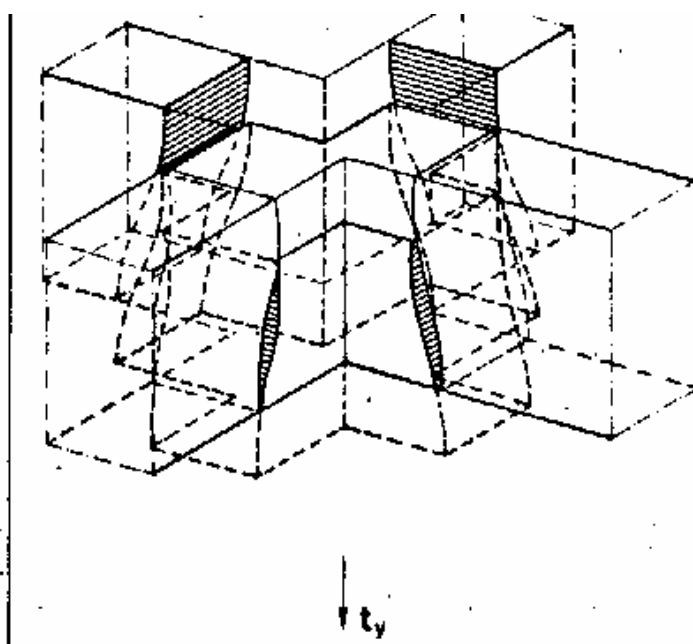
- Ligação em T
- Cedência longa



- Ligação em cruz
- Cedência curta

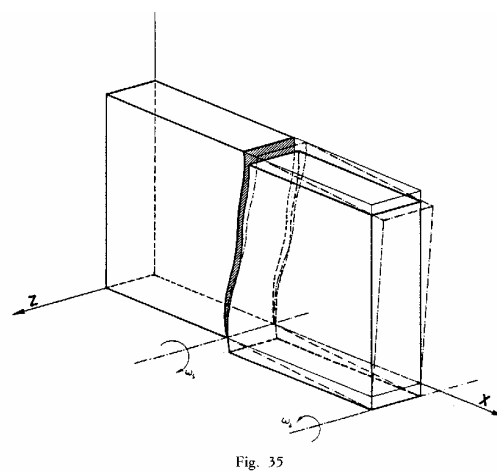
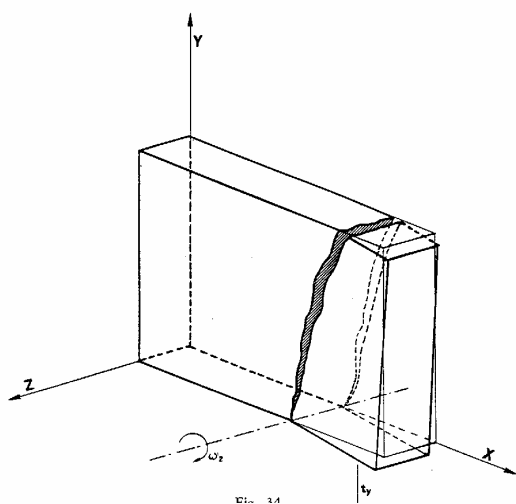
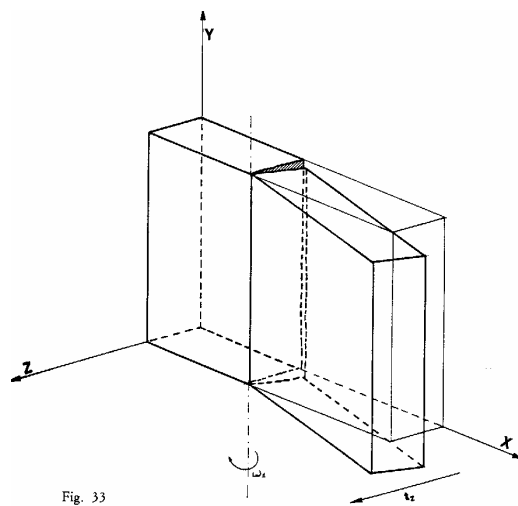
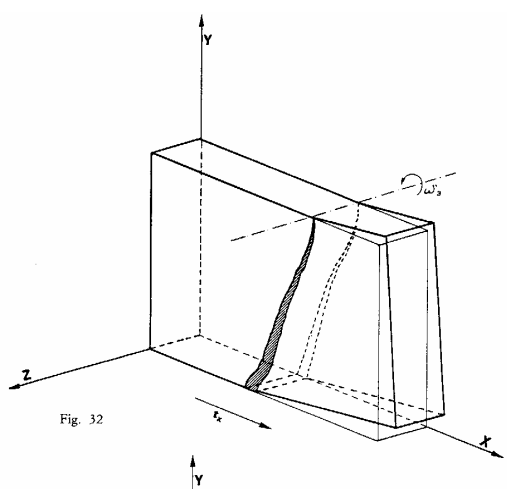


- Ligação em cruz
- Cedência longa



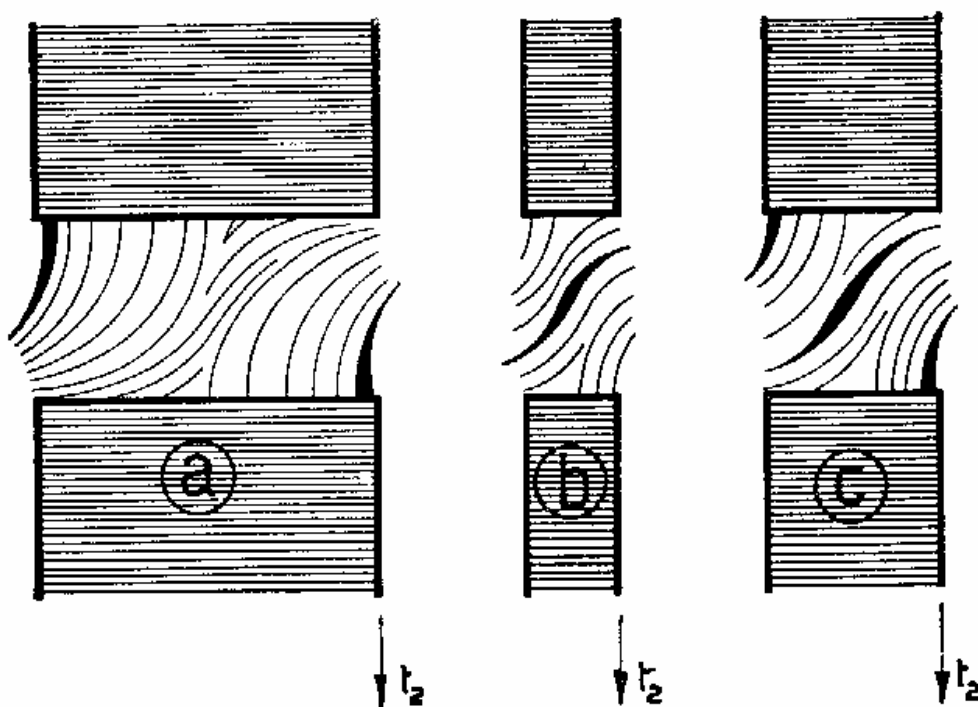
Rotações

- Rotação principal : consequentes dos movimentos de rotação do plano de apoio do sólido em alvenaria, no qual se situam os eixos de rotação.
- Rotação secundária : consequente da acção dos momentos provenientes do aparecimento da força de arrastamento.



PAREDES COM ABERTURAS

- As fissurações seguem as linhas de menor resistência;
- Localizam-se nas regiões da alvenaria situadas entre uma e outra abertura na própria vertical mais próxima do limite da cedência.
- Se as aberturas são amplas e verticalmente vizinhas, as tensões normais são preponderantes sobre as tangenciais (a);
- Quando as aberturas são estreitas e distanciadas verticalmente, são preponderantes as tensões de corte, e a lesão terá um andamento como na fig. (b);
- Quando as tensões normais e as tangenciais assumem ordens de grandeza análogas, temos manifestações de fissuração como em (c).



Lesões na fachada de um edifício em alvenaria

