

Compactação Contínua de Placas Cerâmicas com Sistema de Fixação Integrado

A. Bresciani^{1a*}, C. Ricci^{1a}

¹SACMI Imola, Via Selice Provinciale 17/A, 113 40026, Imola, Itália

*e-mail: sacmi@sacmi.it

Resumo: Atualmente há uma difusão progressiva das placas cerâmicas porcelânicas para uso arquitetônico, como em paredes externas de edifícios (fachadas). Apesar das vantagens oferecidas pelos produtos cerâmicos – variedade de efeitos cromáticos, excelentes características físicas e mecânicas, resistência aos agentes atmosféricos, baixo custo – as placas porcelânicas para fachadas apresentam como inconveniente a necessidade de elaboração de sistemas adequados para que sejam fixadas na estrutura do suporte. De fato, as mesmas características que fazem da cerâmica um produto desejado (especialmente sua dureza) resultam nas longas horas de trabalho e elevados custos para preparar os sistemas de fixação a serem realizados no produto gresificado, como perfuração e corte. Os altos custos dificultam um maior acesso das placas porcelânicas no mercado, pois devem competir com outros materiais como as pedras naturais e o vidro, para os quais os processos de fabricação aditiva são mais baratos. Para resolver estas limitações é proposta uma nova aplicação da tecnologia Continua[®] de compactação, com objetivo de integrar os sistemas de fixação metálica na matriz cerâmica, para serem assim obtidas placas prontas para instalação nas estruturas de suporte das fachadas.

Palavras-chave: *placas porcelânicas, fachadas, compactação, sistemas de fixação, Continua[®].*

1. Introdução

A singularidade do processo de compactação Continua[®] permite a inserção, mesmo quando a placa encontra-se na forma de pó, de peças metálicas convenientemente projetadas que são compactadas continuamente, sem comprometer as fases seguintes de produção ou a produtividade da planta.

O processo, patenteado, pode ser resumido como:

- i. Posicionamento preciso dos insertos metálicos na esteira de transporte por dispositivos de distribuição com controle automático;
- ii. Carregamento das camadas adequadas de pó cerâmico, decoradas com efeitos ou de superfície ou no interior da massa;
- iii. Compactação por prensagem contínua para integrar os insertos na massa cerâmica compactada;
- iv. Decoração, se for o caso, e prensagem final do produto cerâmico;
- v. Redução, se necessário, das dimensões desejadas por corte a cru antes da queima;
- vi. Secagem, queima, polimento (se for o caso) e retífica das bordas das placas obtidas.

Pela primeira vez esta aplicação permite a fabricação de placas cerâmicas providas com um sistema de fixação integrado para sua montagem em paredes externas. O estudo experimental realizado mostra que a interconexão entre a massa cerâmica gresificada e o inserto metálico proporciona uma elevada resistência mecânica ao arrancamento de acordo com a normativa e as boas práticas de edificação.

Por outro lado, a funcionalidade adicional da fixação integrada não compromete o uso normal das placas, embora proporcione uma economia considerável no processamento e na montagem dos produtos acabados. Desta forma, são apresentadas novas oportunidades para o uso de cerâmica em fachadas ventiladas, graças ao maior rendimento e baixo custo da solução proposta.

1.1. Estado da técnica

Uma aplicação interessante das placas cerâmicas é o revestimento das paredes exteriores dos edifícios, de acordo com a técnica

conhecida como “fachada ventilada”, Figura 1. As peças cerâmicas são fixadas em estruturas auxiliares de montagem, integradas por barras metálicas (pés direitos e transversais), que por sua vez são fixadas às paredes do edifício por suportes e escoras^{1,2}. Entre o plano das peças cerâmicas e a parede do edifício existe um espaço no qual se aloja a estrutura de montagem e por onde flui ar por convecção natural, assegurando as vantagens de proteção térmica, ventilação e impermeabilização da parede³.

Em seguida são descritos os sistemas mais conhecidos para aplicação de placas cerâmicas em fachadas ventiladas, sendo mostradas as deficiências que limitaram sua maior difusão até o momento.

a. Suportes externos

Trata-se de um método visível de fixação, não sendo necessário qualquer trabalho sobre a placa. As placas são sujeitas por seus quatro cantos com grampos metálicos em forma de U, fixados na parte posterior da estrutura metálica, Figura 2. No entanto, apesar de sua simplicidade, o sistema de fixação permanece visível (antiestético) e não é adequado para placas pesadas e de grande formato.

b. Escoras de dilatação metálicas

Trata-se de um sistema oculto de fixação (não visível pelo lado de fora)⁴. São feitos furos “cegos” – ou seja, com uma profundidade menor que a espessura da placa – com ferramentas adiamantadas. Uma escora metálica de expansão é então introduzida no furo. A escora tem uma terminação na forma de pino sobre o qual é encaixado o suporte na estrutura de montagem, Figura 3.

A fase de perfuração dos orifícios é um processo de alto custo, pois requer ferramentas adiamantadas com geometria especial, além de uma furadeira CNC. Além disto, a profundidade do furo é considerável, superior à metade da espessura da placa, com risco de fratura durante a furação.

c. Insertos introduzidos em ranhuras

Também é um sistema de fixação oculto. Os grampos metálicos são encaixados em ranhuras feitas nas placas. As ranhuras, feitas com ferramentas adiamantadas, podem estar situadas nas laterais

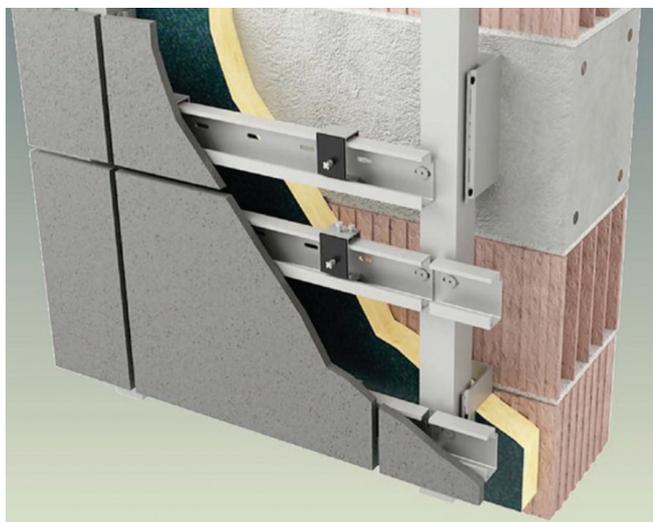


Figura 1. Exemplo de uma fachada ventilada.

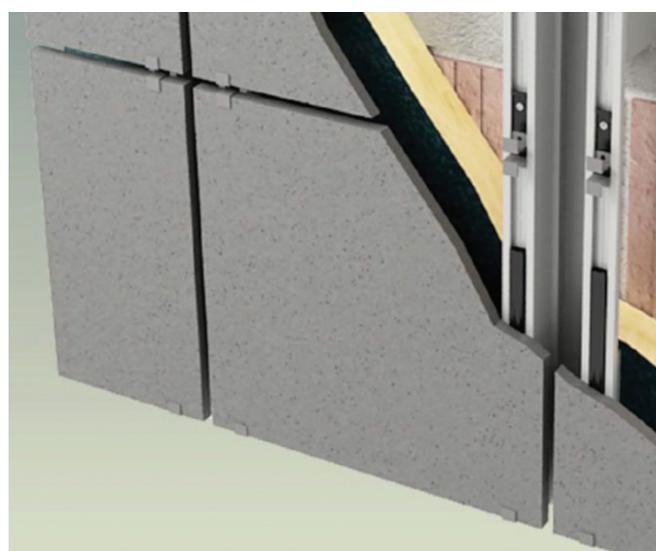


Figura 2. Instalação por suportes externos.

ou no dorso das placas, neste caso com ranhuras oblíquas, Figura 4. De qualquer forma, a elaboração das ranhuras é um processo de alto custo, com possibilidade de fratura durante sua execução devido à grande profundidade destas ranhuras, especialmente para o caso das ranhuras oblíquas.

d. Fixação por adesivos estruturais

Mais um sistema de fixação oculta. Os elementos de fixação (suportes e grampas) metálicos (em aço inoxidável ou alumínio) são aderidos à placa cerâmica com adesivos estruturais. Este método não requer usinagem da placa cerâmica⁵. De qualquer forma, a fase de colagem é muito crítica e incerta. De fato, os adesivos estruturais requerem um rígido controle do processo para evitar fratura da junta, e condições atmosféricas extremas ou envelhecimento prejudicam a ligação química.

2. Metodologia: Um processo inovador

Foi desenvolvido um novo método de obtenção de placas cerâmicas com sistemas de fixação incorporados, prontos para montagem nas estruturas das fachadas ventiladas. O novo método oferece as seguintes vantagens:

- Integração perfeita entre o inserto e a matriz cerâmica, reduzindo a possibilidade de desprendimento ou fratura da placa;
- Sistema totalmente oculto, com mínimo impacto estético, pois o inserto só é visível na parte posterior da placa;
- Baixo custo de produção, inferior ao custo das soluções apresentadas anteriormente (embora o método “a” possa ter um custo similar, sua qualidade estética é inferior);

O novo método proposto aproveita a capacidade das linhas de compactação Continua[®], introduzidas pela Sacmi há aproximadamente 10 anos⁶ e consolidadas no mercado. O sistema Continua[®] é particularmente indicado para a produção de placas porcelânicas de grandes dimensões, com elevado valor estético e técnico. A tecnologia Continua[®] aproveita o carregamento de pós mais macios sobre a correia transportadora e uma subsequente prensagem contínua para se ter uma primeira compactação a densidades intermediárias (aproximadamente 1,60 g/cm³).

Uma recente evolução deste sistema de fabricação aditiva, denominada Continua+[®], permite obter densidades até mesmo mais elevadas que a prensagem tradicional (aprox. 2 g/cm³), evitando-se a reprensagem descontínua nos moldes tradicionais. Deste modo, podem ser obtidas placas com dimensões praticamente sem limites, pelo menos quanto ao seu comprimento (quer dizer, três metros ou mais).

A produção de placas com um sistema de fixação integrado, por compactação contínua, é composta das seguintes fases, Figura 5:

- i. Colocação dos insertos na superfície da correia de alimentação em posições adequadas, espaçadas com precisão ao longo do sentido de alimentação (distância P) e em sentido transversal em duas ou mais filas (distância T);
- ii. Alimentação da correia transportadora com pó cerâmico;
- iii. Deslocamento da correia para compactação contínua;
- iv. Corte da placa a cru antes da queima para se obter as dimensões desejadas;
- v. Reintrodução, se for o caso, da placa compactada em uma segunda prensa e reprensagem a alta pressão;
- vi. Realização das demais etapas do ciclo de produção cerâmica com as fases de secagem, decoração e queima.

Os insertos a serem incorporados na matriz cerâmica apresentam um furo rosqueado por onde será encaixado o parafuso que fará a fixação à estrutura metálica da parede. Já foram realizados com êxito ensaios experimentais com insertos feitos de aços inoxidáveis AISI 304 e AISI 316, com furos rosqueados M6 e M8, Figuras 6 e 7. Para impedir que o furo se encha com pó cerâmico, este é protegido com

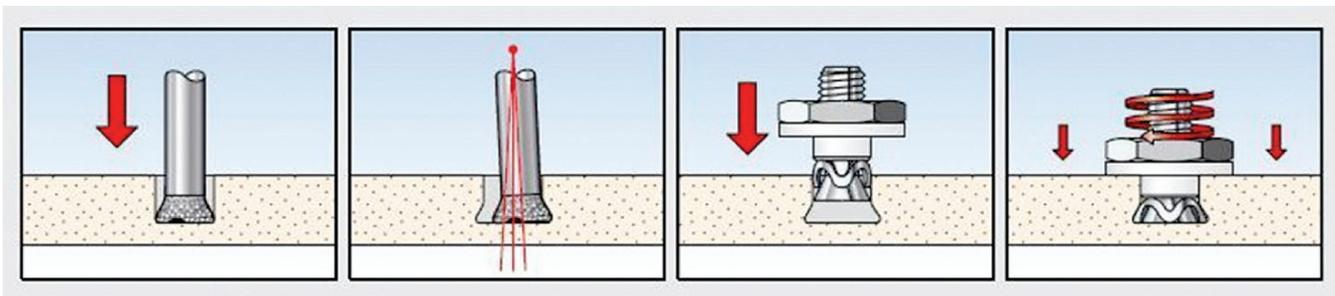


Figura 3. Sequência de montagem da escora de expansão tipo Fischer FZP K.

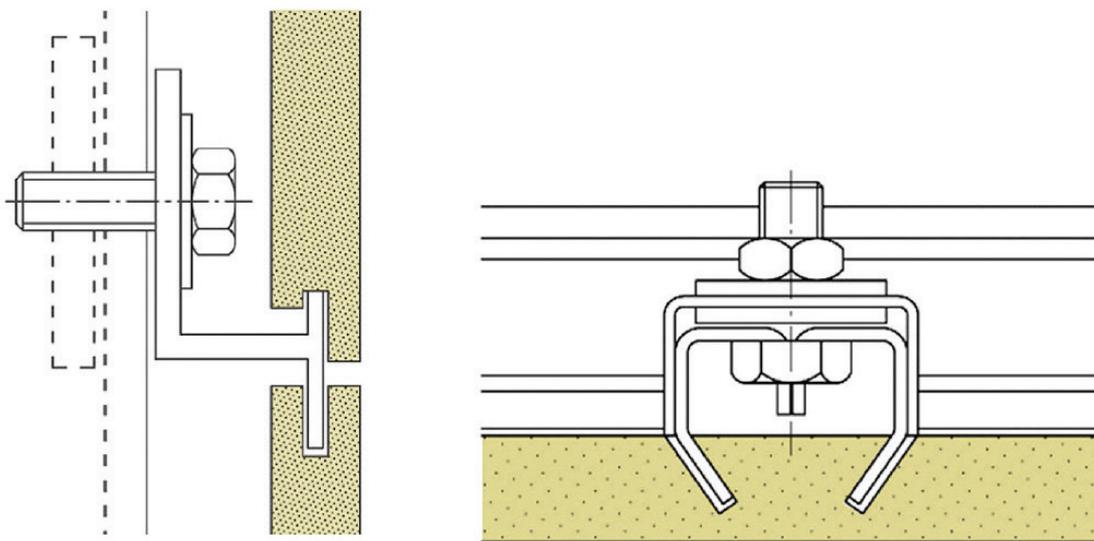


Figura 4. Ranhuras nas laterais (à esquerda) e no dorso (à direita).

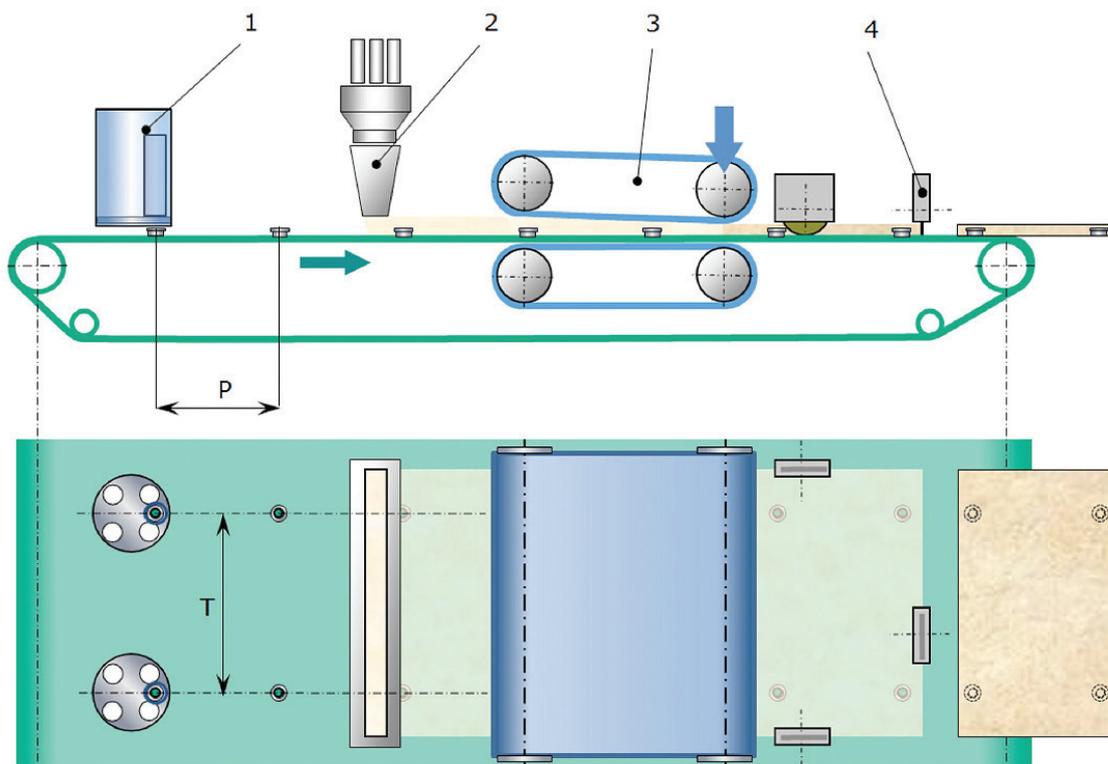


Figura 5. Posicionamento automático dos inserts na linha de compactação Continua®.



Figura 6. Insertos antes (à esquerda) e depois da queima (à direita); pode ser observado (à esquerda) o parafuso “prisioneiro”, retirado logo após a queima (à direita).

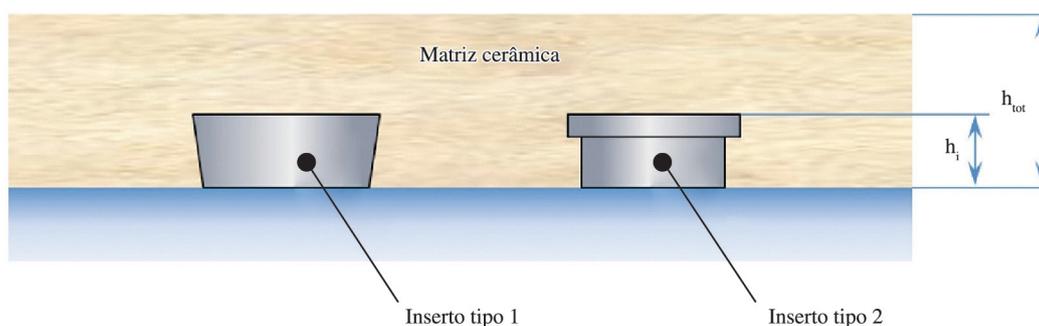


Figura 7. Posicionamento dos insertos.

um parafuso “prisioneiro” de altura apropriada, que é retirado depois da fase de queima, Figura 6.

Apesar das elevadas temperaturas (1200 °C) durante a fase de queima, os insertos metálicos resistem e mantêm sua funcionalidade ao final do ciclo térmico. Para melhorar ainda mais o comportamento dos insertos, podem ser utilizados aços inoxidáveis com baixo teor de carbono, como o AISI 304L ou o AISI 316L, pois são ligas com maior resistência a elevadas temperaturas.

Para se obter um bom comportamento de fixação, os insertos devem estar intimamente unidos à matriz cerâmica circundante. Concretamente, devem realizar as seguintes funções:

- antirrevolução, para evitar que o inserto gire com o parafuso, impossibilitando assim a fixação;
- antiextração, para evitar que uma penetração excessiva do parafuso, que atua sobre a cerâmica, empurre axialmente o inserto para fora.

A função antirrevolução é obtida ao se fazer a superfície exterior do inserto com uma geometria não circular (ou seja, com uma superfície plana, com entalhes ou ranhuras). A função antiextração é obtida fazendo-se um rebaixo: o inserto apresenta uma terminação com alargamento (em forma cônica) e a seção aumenta ao penetrar na matriz cerâmica.

Evidentemente os insertos devem estar embutidos para que sua terminação permaneça presa dentro da matriz cerâmica, impedindo sua extração. O alargamento da terminação não deve ser excessivamente pronunciado para permitir que o inserto fique totalmente rodeado pelo pó, sem buracos que poderiam causar

defeitos de prensagem. A Figura 7 mostra de forma esquemática o posicionamento dos insertos tipo 1 e tipo 2.

A figura mostra que a altura do inserto h_i deve ser consideravelmente mais baixa que a altura total (espessura) do produto cerâmico compactado h_{tot} ; isto serve para impedir uma compactação não homogênea do material, com as consequentes trincas durante as fases de prensagem ou queima. O valor da relação h_i/h_{tot} deve ser significativamente inferior a 0,7, preferencialmente entre 0,4 e 0,6.

Para avaliar a influência dos insertos metálicos na matriz cerâmica durante a fase de compactação, foi realizada uma análise pelo método dos elementos finitos (MEF). A Figura 8 apresenta a distribuição do gradiente de compactação dentro do material cerâmico, para o caso de um inserto de tronco de cone (tipo 1).

Ao final do processo de queima, a placa cerâmica com os insertos apresenta o aspecto mostrado na Figura 9 e está pronta para sua montagem nas fachadas ventiladas.

3. Resultados experimentais

Para avaliar o rendimento do inserto com rosca, concretamente sua coesão com a matriz cerâmica depois da fase de sinterização, foram realizadas medidas da resistência à extração. Utilizando-se como referência a norma italiana UNI 11018 § 4.6.2.2⁷, a resistência mínima à extração aceitável para o caso de placas cerâmicas seria:

$$\sigma_{am} = \frac{\sigma_k}{\gamma_s} \quad (1)$$

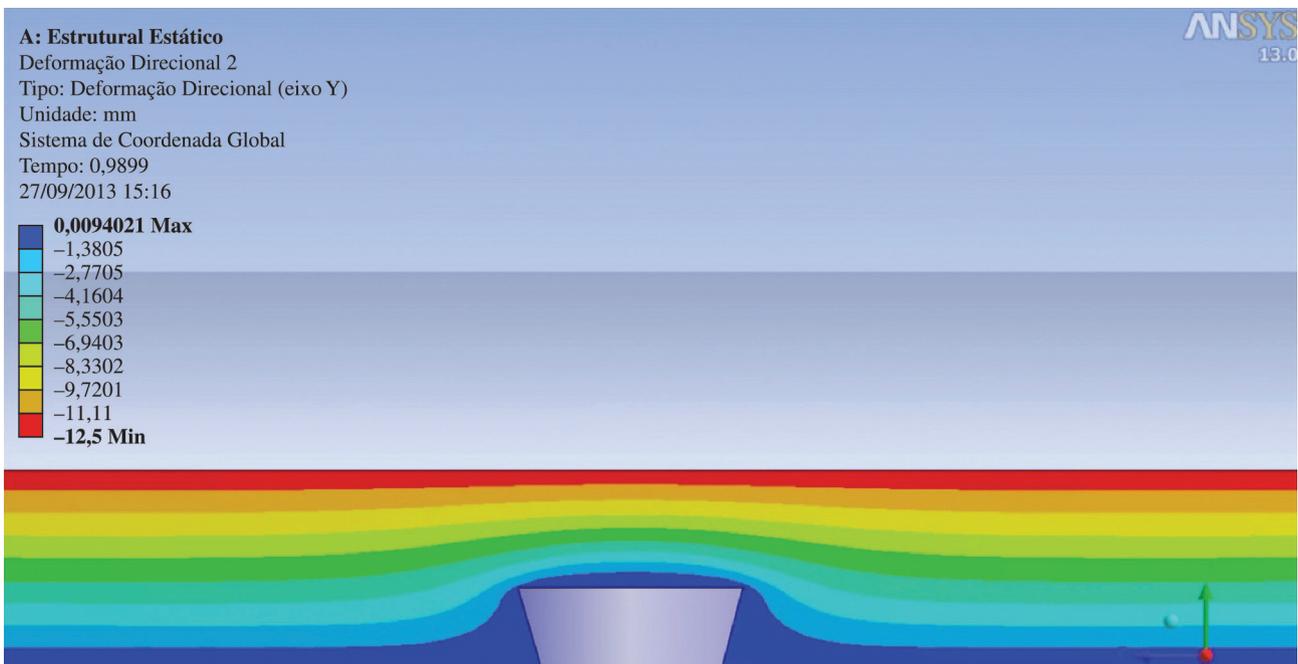


Figura 8. Análise pelo método de elementos finitos: distribuição do gradiente de compactação.



Figura 9. Placa com os inserts embutidos no material cerâmico.

Sendo σ_k a resistência à flexão média (≥ 27 MPa para grés porcelânico) e γ_s o fator de segurança (igual a 2,4 para escoras). Assim, a resistência à extração mínima aceitável seria:

$$\sigma_{am} = \frac{27}{2,4} = 11,2 \text{ MPa} \quad (2)$$

A análise pelo método de elementos finitos confirma a atuação do estado de tensão em torno do inserto. A Figura 10 mostra o intervalo de tensão principal máxima (em MPa) para a matriz cerâmica. A força de extração, aplicada na rosca do inserto (não mostrada) era de 1500 N. Este valor pode ser considerado apropriado para fachadas em condições habituais⁵.

A tensão resultante na matriz cerâmica, na região que cerca o inserto, alcança um máximo de 10 MPa e é portanto aceitável segundo a norma UNI 11018⁷. Concretamente:

$$\sigma_{eff} = 10 \text{ MPa} < \sigma_{am} = 11,2 \text{ MPa} \quad (3)$$

Para o caso de cálculos de projeto, como seção resistente equivalente S_r do inserto, poderia ser considerado o diâmetro médio do mesmo.

Para o caso apresentado na Figura 10, o diâmetro médio é de 12,8 mm, correspondente a uma seção resistente de aproximadamente

129 mm², a partir da qual é obtida a força mínima de extração admitida F_{ext} , que é o valor ao qual o inserto deve resistir enquanto trabalha.

$$F_{ext} = \sigma_{am} \cdot S_r = 11,2 \cdot 129 = 1445 \text{ N} \quad (4)$$

Para verificar os cálculos, foi projetado e implementado um dispositivo para ensaiar os inserts embutidos nas placas cerâmicas. O dispositivo de ensaio é acionado por um cilindro pneumático com cabeçote de conexão com rosca que faz a função do parafuso de fixação. O dispositivo aplica uma força de extração que aumenta paulatinamente até 1800 N. O cilindro é posicionado sobre um espaçador que está em contato com a placa cerâmica por meio de um disco de material elástico (poliuretano).

A Figura 11 apresenta uma seção do dispositivo montado. Devem ser destacadas a articulação esférica no olhal da haste do êmbolo e o par de arruelas esféricas do suporte do corpo do cilindro usadas para evitar as cargas transversais, que sem elas submeteriam o sistema a forças de flexão.

Foram ensaiadas várias placas porcelânicas de 60 × 120 cm², produzidas no laboratório da SACMI Imola, com inserts de aço inoxidável e rosca M6. Os resultados são detalhados na Tabela 1 e confirmam a fiabilidade da solução proposta em relação à resistência mecânica à extração, sempre superior ao valor objetivo (1500 N).

Por outro lado, deve-se salientar que os valores da Tabela 1 referem-se ao início da falha do material cerâmico, sinalizado por um suave som de formação de trinca, e não pela força de extração total. Em verdade, a força necessária para a extração total seria muito superior à indicada.

A Figura 12, à esquerda, mostra o dispositivo de ensaio em funcionamento. A determinação da força de tração é realizada pela medição da pressão no manômetro e considerando a seção de trabalho do cilindro pneumático. A Figura 12, à direita, apresenta o aspecto do inserto depois do ensaio. O inserto ainda está embutido no material cerâmico e foram formadas algumas trincas radiais e também formas lobulares.

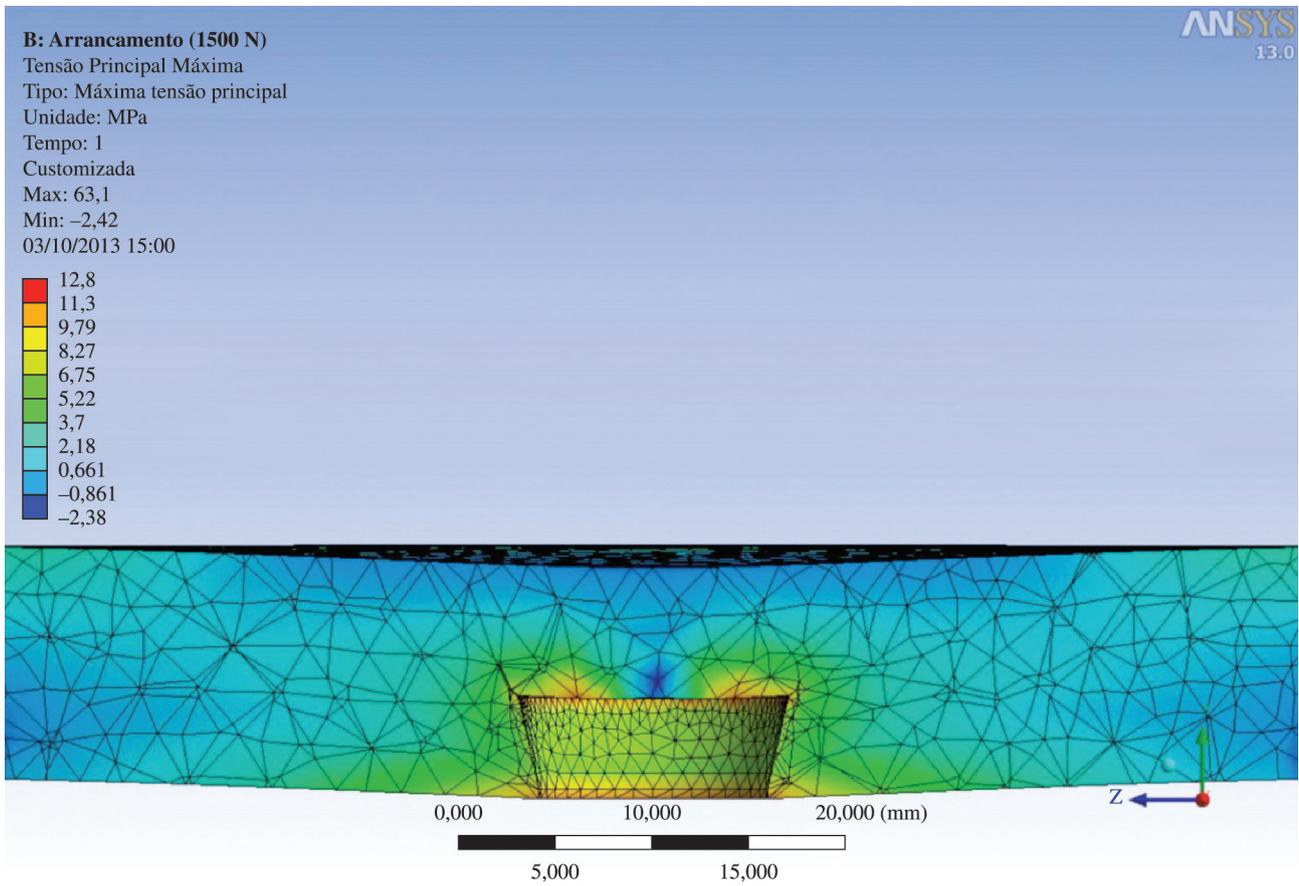


Figura 10. Análise por método de elementos finitos da fase de extração (deformações x 200).

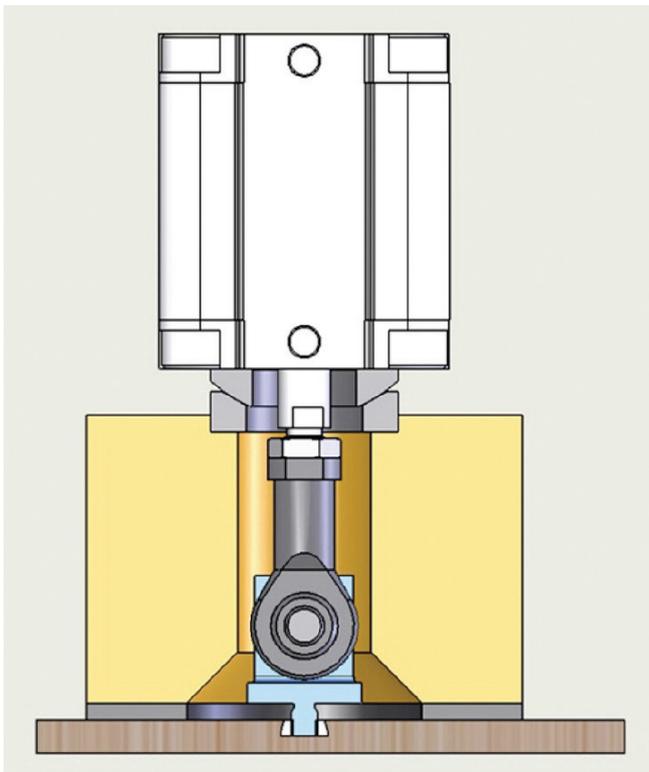


Figura 11. Sistema de ensaio para medir a força de extração.



Figura 12. Sistema de ensaio e inserto após o ensaio de extração (à direita).

Tabela 1. Valores medidos da força de extração.

Ensaio	Material do inserto	Força de extração (N)	Resultado
A1	AISI 440	1550	OK
A2	AISI 440	1550	OK
A3	AISI 440	1650	OK
B1	AISI 310	1750	OK
B2	AISI 310	>1800*	OK
B3	AISI 310	>1800*	OK

*não foi produzido dano à matriz cerâmica à máxima força de extração.

4. Conclusões

A aplicação da tecnologia Continua assegura a produção industrial de materiais cerâmicos de alto valor agregado, tanto estético quanto técnico. Por outro lado, a possibilidade de introduzir insertos metálicos na massa ainda crua e de embuti-los na matriz cerâmica durante a fase de queima proporciona funcionalidades mecânicas novas e inesperadas para as placas.

Este estudo, realizado na planta piloto do laboratório da SACMI Imola, demonstrou a viabilidade do processo industrialmente. A função de fixação integrada desenvolvida apresenta custo muito baixo, consideravelmente inferior ao de outras técnicas disponíveis no mercado, embora ofereça o mesmo comportamento mecânico.

É esperado que esta aplicação abra novas oportunidades de mercado para as peças de grés porcelânico e a difusão de seu uso em novos mercados de alto volume, como fachadas de ornamentação, contribuindo desta forma para a recuperação do setor cerâmico industrial.

Referências

1. REIG, L. **Technical-economic study of facade materials and systems.** Castellón: Qualicer, 2006.
2. REIG CERDÁ, R. et al. **Advantages and conditioning factors of ventilated façades with respect to the basic building requirements (TBC).** Castellón: Qualicer, 2010.
3. SILVA, G. **Study of the energy efficiency of ventilated ceramic façades.** Castellón: Qualicer, 2010.
4. TSCHOSITSCH, J. **Undercut panel anchors for concealed fastening of ceramic cladding panels.** Castellón: Qualicer, 1994. p. 289-299.
5. FELISBINO, K.; RAMOS, H. **Development of a fixing system for ventilated façades with low-thickness porcelain tile.** Castellón: Qualicer, 2012.
6. BRESCIANI, A.; RICCI, C. **Innovative process for ceramic tile manufacturing by double pressing with continuous precompaction.** Qualicer, v. 1, p. GI-49-60, 2004.
7. IMOLA TECNICA. **UNI 11018: Cladding and anchoring systems for back ventilated external enclosures of buildings - Instructions for the design, installation and maintenance - Ceramic and stone cladding.** Imola, 2003.