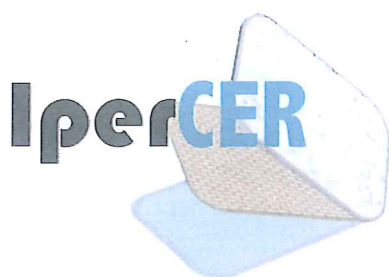


GRANDI LASTRE: il comportamento delle polveri

di Roberto Soldati⁽¹⁾, Chiara Zanelli⁽¹⁾, Guia Guarini⁽¹⁾, Sandra Fazio⁽²⁾, Maria Chiara Bignozzi⁽²⁾, Michele Dondi⁽¹⁾



CUP di PROGETTO: E32J16000010007



□ Nelle linee di produzione di grandi lastre ceramiche, la deposizione delle polveri atomizzate avviene attraverso tramogge che permettono il dosaggio su un nastro trasportatore, che viene poi traslato al di sotto dei rulli compattatori o del tampone della pressa, a seconda della tecnologia impiegata per la compattazione. Si distinguono tre fasi (Fig. 1):

1) **Flusso dalla tramoggia:** la quantità di impasto è dosata in base al flusso di massa attraverso l'orifizio della tramoggia e alla velocità di avanzamento del nastro. Il flusso di massa dipende dalla granulometria dell'atomizzato e in particolare dalla sua frazione grossolana; ancora migliore è la correlazione negativa con la frequenza di aggregati di forma irregolare: tanto minore è la percentuale di granuli "popcorn" e tanto maggiore è il flusso di massa.

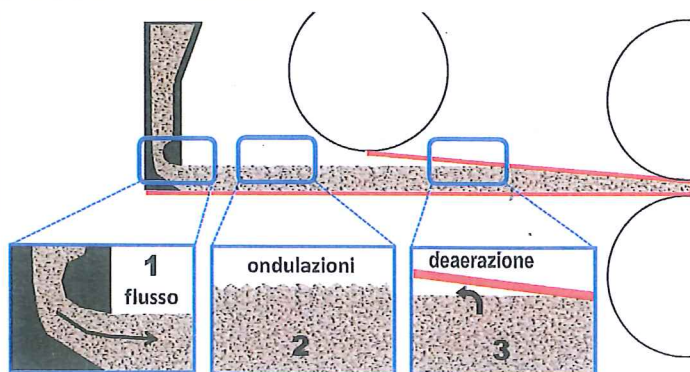
2) **Deposizione sul nastro:** le polveri si depongono sul nastro seguendo un fenomeno di oscillazione, legato all'angolo di riposo, che determina ondulazioni più o meno visibili sulla superficie dello strato soffice. L'angolo di riposo dipende principalmente dalla presenza nell'atomizzato di granuli

grossolani e/o di aggregati di forma irregolare: se questa frazione è maggiore del 10% in volume, si hanno indicativamente angoli di riposo maggiori di 30° e viceversa. Occorre considerare che atomizzati più scorrevoli (angoli di riposo statico inferiori a 30°), danno strati di soffice più densi (>1 g·cm⁻³) rispetto a polveri meno scorrevoli (0.9-1 g·cm⁻³).

3) **Deaerazione del soffice:** la graduale compattazione prodotta dai due nastri, prima di giungere ai rulli compattatori, induce la deaerazione del soffice, che può essere sufficientemente energica da rimobilizzare lo strato superiore di atomizzato. Anche tale fenomeno è soggetto a fluttuazione fra un punto critico, al quale gli agglomerati cominciano a riassetarsi per effetto del flusso d'aria, e un punto di equilibrio, seguito da una stasi del moto dei granuli, che resistono al flusso d'aria fino a ritornare al punto critico.

Pertanto, un produttore di grandi lastre ceramiche che debba orientare le caratteristiche dell'atomizzato, nell'intento di ottimizzare il comportamento delle polveri nella fase di deposizione, ha sostanzialmente l'opzione tra una granulometria più o meno fine, poiché l'umidità è praticamente ininfluenza in questo stadio del processo. Ancor più importante della granulometria, però, risulta essere la "qualità" dell'atomizzato, intendendo con ciò la presenza o meno di una frazione di aggregati grossolani, spesso formati per coalescenza di tre o più granuli sferici, probabilmente originata da una conduzione non ottimale dell'atomizzatore

Fig1. Schema dei punti dove ha maggiore rilevanza il comportamento dell'atomizzato prima della pressatura. 1) Flusso delle polveri attraverso l'orifizio della tramoggia; 2) formazione di ondulazioni sopra il letto di polveri; 3) deaerazione dello strato soffice.



Effetto delle caratteristiche intrinseche degli atomizzati sul loro comportamento in deposizione

Fase del processo [GRANDEZZA DI RIFERIMENTO]	Granulometria più fine	Granulometria meno fine	Aggregati di forma irregolare (>10% vol.)	Umidità
Flusso polveri dalla tramoggia [FLUSSO DI MASSA]	velocità di flusso più alta [$>14.5 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$]	velocità di flusso più bassa [$<14.5 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$]	velocità di flusso più bassa [$<14.5 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$]	influyente
Deposizione delle polveri [ANGOLO DI RIPOSO]	non determinante	disposizione con angolo più alto [$>30^\circ$]	disposizione con angolo più alto [$>30^\circ$]	
Densità apparente soffice [DENSITÀ VERSATA]	non determinante	soffice meno denso [$<0.97 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$]	soffice meno denso [$<0.97 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$]	
Deaerazione del soffice [RAPPORTO DI HAUSNER]	non determinante	soffice meno mobilizzabile [>1.12]	soffice meno mobilizzabile [>1.12]	

cro e microporosità intragranulare (Fig.2). La densità di partenza è pari alla densità versata, generalmente varia-

e/o delle successive fasi di trasporto e stoccaggio (con granuli troppo umidi oppure bagnati da gocciolamenti per condensa o da eventuali operazioni di riuniformazione) e con effetti indicativamente riportati nella tabella. In generale, è raccomandabile avere un atomizzato a granulometria più fine, ma soltanto evitando aggregati di forma irregolare (possibilmente <5%).

Il comportamento delle polveri atomizzate durante la pressatura è la convoluzione di vari fenomeni, i quali riguardano sia le particelle minerali costituenti l'impasto, sia la porosità presente fra di esse. Tali fenomeni avvengono a scale variabili dalla frazione di millimetro (assestamento dei granuli) a frazioni di micron (microporosità del compatto dopo pressatura).

La compressibilità degli atomizzati, espressa come indice di Carr (a 40 MPa), varia da 50% a 58%, con la maggior parte degli impasti compresi fra 50% e 55%, e dipende in primo luogo dall'umidità delle polveri: ogni comparazione deve tenere conto del grado di umidità e della sua distribuzione nel fuso granulometrico dell'atomizzato. In quest'ottica, le differenze di comportamento fra atomizzati a granulometria più fine o meno fine possono venire giustificate, in prima istanza, dalla diversa umidità, che è mediamente maggiore nelle polveri

più grossolane.

Nella pressatura degli impasti ceramici si individuano due regimi di compattazione: a bassi carichi (<100 kg/cm²) si osserva una rapida densificazione all'aumentare della pressione specifica. Ad alti carichi (>150 kg/cm²) l'incremento di densità apparente è assai più lento. Questi due regimi sono raccordati fra loro in modo graduale.

La situazione di partenza è quella dello strato di soffice deposto sul nastro prima dell'applicazione del carico. Oltre il 60% in volume è porosità di vario genere: la macroporosità intergranulare (P₃) è pari a circa il 30% del volume dello stampo, mentre il restante è rappresentato dalla ma-

bile 0.9 a 1.0 g/cm³.

Nel regime di bassa pressione si ha un iniziale riarrangiamento della disposizione reciproca dei granuli, che permette un modesto guadagno di densità, pressappoco pari alla densità battuta (da 1,03 a 1,12 g/cm³, in funzione della reologia). È significativo che i valori massimi di densità battuta si abbiano per una pressione di circa 2,5 kg/cm², alla quale si osserva il punto di snervamento apparente delle polveri. Oltre tale punto, si rileva un incremento di densità apparente che è molto rapido sino a ~50 kg/cm² e decresce gradualmente per raccordarsi col regime di alta pressione, intorno a 130 kg/cm². La densità apparente

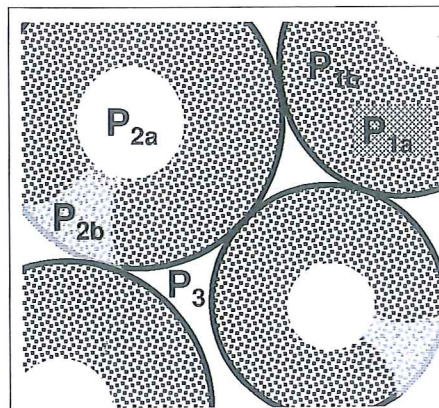


Fig 2. Porosità del soffice. Microporosità intragranulare: P1a, frazione "incompressibile" e P1b, frazione "compressibile". Macroporosità intragranulare: P2a, "cavità centrale" e P2b, "imbuto". Macroporosità intergranulare: P3, spazi vuoti fra i granuli.

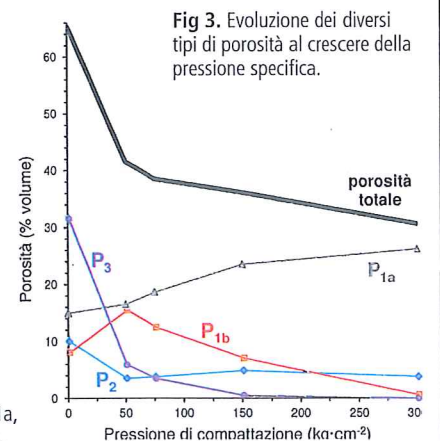


Fig 3. Evoluzione dei diversi tipi di porosità al crescere della pressione specifica.

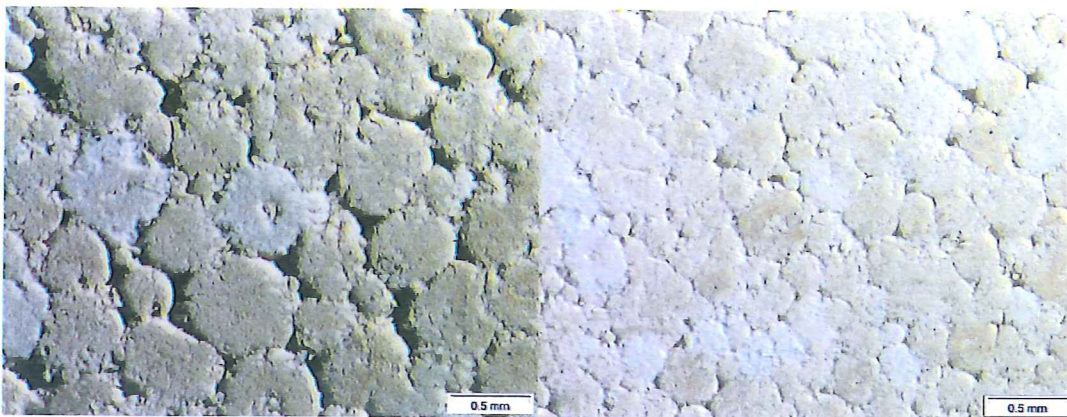


Fig 4. Tessitura dei compatti, 50 kg/cm² (sinistra) e 150 kg/cm² (destra). Piano perpendicolare alla direzione di applicazione del carico.

giunge a 1,82-2,07 g/cm³, in funzione dell'umidità delle polveri e della deformabilità dei granuli. Tale processo è reso possibile dalla riduzione dimensionale della macroporosità intergranulare, che dal 30% passa a <1% a 150 kg/cm² (Fig. 3). Alla diminuzione di P₃ fa da contraltare un aumento di P_{1b}, cioè la microporosità di maggiori dimensioni, che tocca il suo massimo intorno a carichi di 50 kg/cm².

L'aumento del tasso di densificazione in corrispondenza del punto di snervamento apparente potrebbe essere dovuto al progressivo collasso della macroporosità intragranulare (P₂). Il volume della cavità centrale assieme al suo imbuto, determinato con l'analisi di immagine, è stimato intorno al 15-20% del totale del granulo. Questa porosità resta in piccola percentuale, forse perché risulta difficile compri-

mere efficacemente l'imbuto (P_{2b}), di cui permane traccia anche dopo compattazione ad altri carichi (Fig. 4).

La deformazione richiesta ai granuli nel regime di bassa pressione è modesta: nella sezione dei compatti è possibile osservare uno schiacciamento che porta a un aspect ratio di 1,3 ± 0,2 (a 100 kg/cm²) contro 1,1 ± 0,1 iniziale. Tale compressione è probabilmente imputabile al collasso della cavità centrale: una contrazione verticale del 13% in volume (cioè P_{1a} più parte di P_{1b}) produrrebbe un rapporto di aspetti pari a 1,3.

Nel regime di alta pressione, si registra un moderato aumento della densità apparente, la quale da 1,82-2,07 g/cm³ (130 kg/cm²) passa a 1,93-2,14 g/cm³ (300 kg/cm²) fino ad arrivare a 1,99-2,19 g/cm³ (500 kg/cm²). Questi

valori corrispondono a una porosità dei compatti che va dal 19% al 25% (500 kg/cm²). In questo regime, il tasso di densificazione è molto più lento poiché occorre un maggiore lavoro per "chiudere" la microporosità intragranulare rispetto alla macroporosità intergranulare. L'incremento di densità apparente, infatti, avviene a spese della microporosità "compressibile", la quale nel caso del gres porcellanato ha dimensioni approssimativamente comprese fra 0,7 e 3 μm. Aumentando il carico, P_{1b} si comprime progressivamente ed è in larga parte convertita nella microporosità più fine (<0,7 μm) che, pertanto, risulta essere "incompressibile" (P_{1a}) nelle condizioni di lavorazione delle lastre di gres porcellanato. Una parte della porosità P₁ viene comunque chiusa a carichi elevati, poiché la porosità totale dei compatti cala.

La deformazione dei granuli interessa soprattutto l'intorno dei "punti tripli", ove si ha la sutura di tre agglomerati. In corrispondenza di tali giunzioni si osserva, nel passaggio al regime di alta pressione, una porosità intergranulare residua che richiede, per poter essere chiusa, un'ulteriore deformazione plastica dei granuli. Tale passo, però, non comporta un maggior schiacciamento degli agglomerati, che mantengono un aspect ratio pari 1,3 ± 0,2 (a 300 kg/cm²).

Lo schema riepilogativo del modello fenomenologico della compattazione è riportato nella Fig.5.

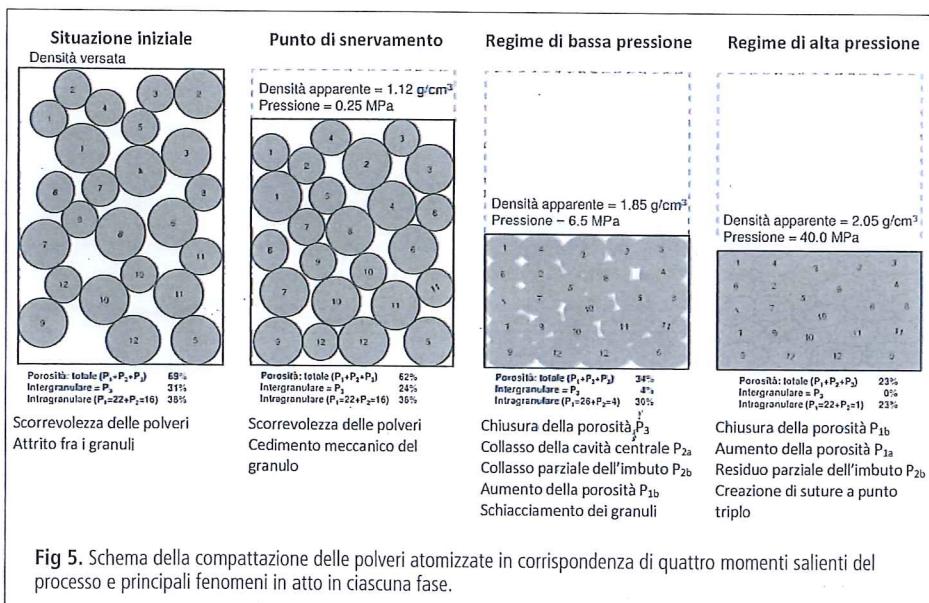


Fig 5. Schema della compattazione delle polveri atomizzate in corrispondenza di quattro momenti salienti del processo e principali fenomeni in atto in ciascuna fase.

¹CNR-ISTEC, Faenza, Italy

²Centro Ceramico, Bologna, Italy