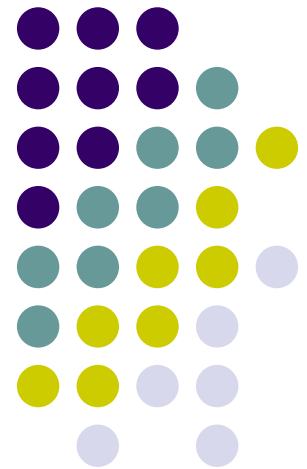


# Evoluzione di schiume d'alluminio all'interno di profili cavi per applicazioni strutturali

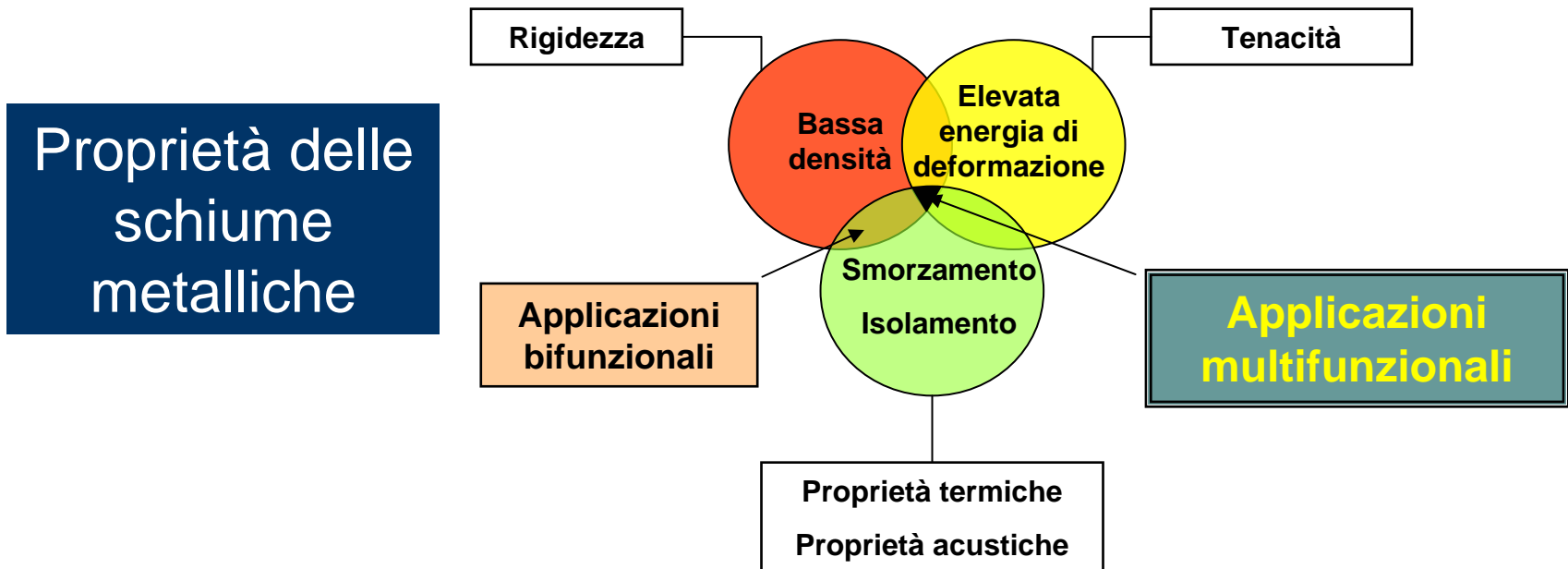
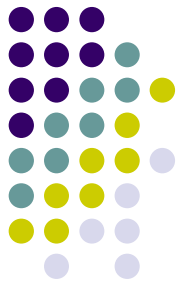
Lucio Bonaccorsi ed Edoardo Proverbio

*Dip. Chim. Ind. Ing. Mat.*

*Facoltà di Ingegneria – Università di Messina*



# Le schiume metalliche saranno competitive se utilizzabili in applicazioni multifunzionali



**I trasporti sono un campo di applicazione multifunzionale per le schiume:  
bassa densità + capacità di smorzare le vibrazioni + capacità di assorbire  
energia a deformazione**

# Cellular Metal Manufacturing

Liquid

Solid

Vapor

Templated solidification

Foaming solidification

Metal fabric layup

Pressed expanded metal sheet

Powder

Templated condensation

Sacrificial template

Retained template

In-situ gas evolution

Gas injection

Mech diffusion bonding

Truss punching or bending

Hollow powder

Template coating

Foaming

Gas entrapment

Polymer foam

Polymer foam

Polymer lattice

RPT Polymer truss

Soluble spheres

Hollow ceramic spheres

Particle decomposition

M-H<sub>2</sub> eutectic

Air injection

Bond face cracks

Brize or weld to bond facesheets

Consolidation / sintering

Sintering

Particle decomposition

Consolidate and hot roll

DVD

CVD

Investment casting

Investment casting

Investment casting

Solidification

Solidification

Solidification

Wave micro truss panel

Constructed cellular solid

Hollow sphere structure

ULTRA-MET

ALU-GHT

Heat treat (expand)

Sinter

Mold removal

Template dissolution

ALPORAS

GASAR

CYMAT hydro

Wave micro truss panel

Constructed cellular solid

Hollow sphere structure

ULTRA-MET

ALU-GHT

LDC panel

DVD foam

INCO foam



# Schiume strutturali = = a celle chiuse

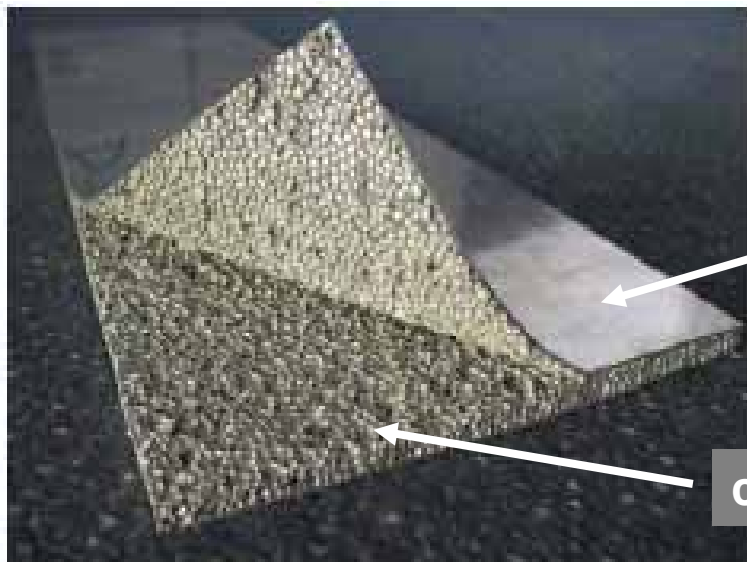


- **Le schiume metalliche a celle chiuse hanno la superficie esterna continua**
- **Le caratteristiche meccaniche diventano particolarmente interessanti se alla schiuma metallica viene aggiunta un'ulteriore "pelle" esterna**

**Sandwich (Al-foam-Al) piuttosto che pannelli di sola schiuma**

**Utilizzo come rinforzo interno di profilati, tubi, getti**

# Strutture Sandwich in Alluminio (AFS)

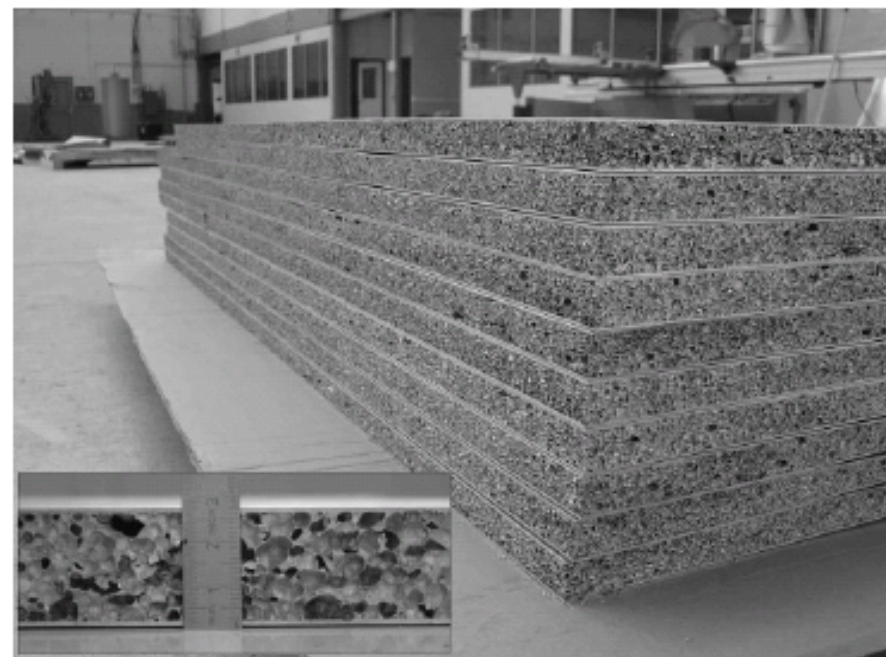


skin: lastra d'alluminio

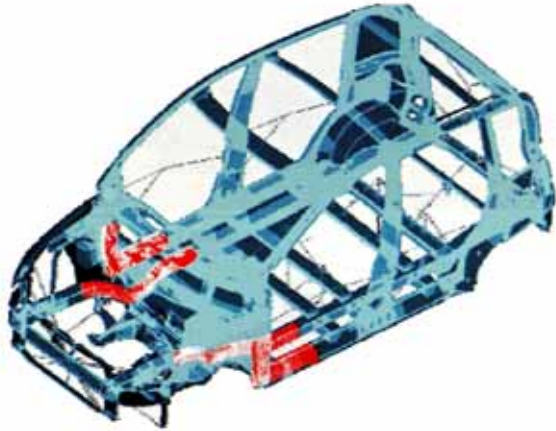
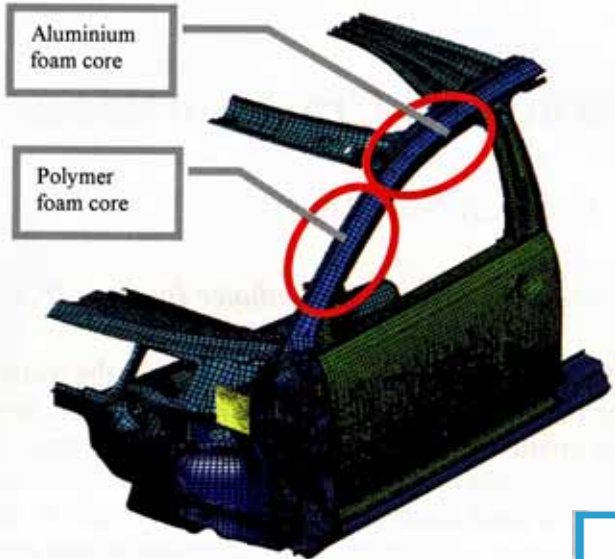
core: schiuma d'alluminio

dim. max.: 1,7 x 1,3 m<sup>2</sup>\*

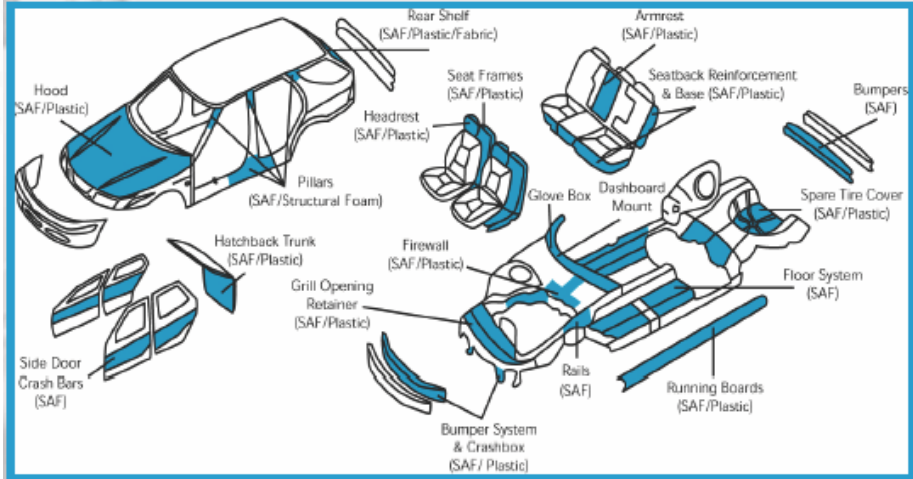
\* produzione: *ALM GmbH Saarbrücken*



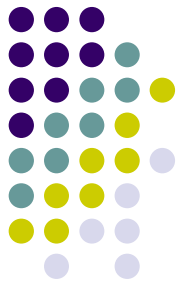
# Riempimento di profili cavi per applicazioni strutturali



Ford – Mondeo-A-pillar.

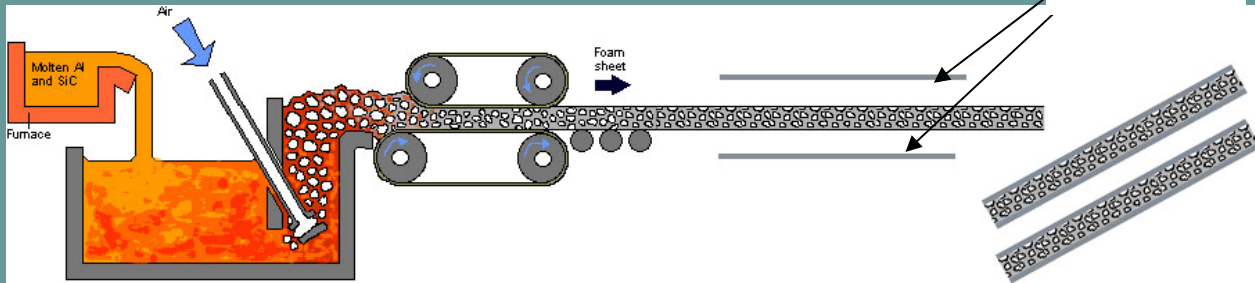


# Metodi per ottenere il riempimento in schiuma

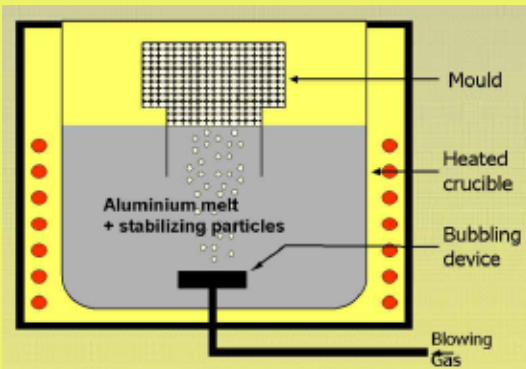
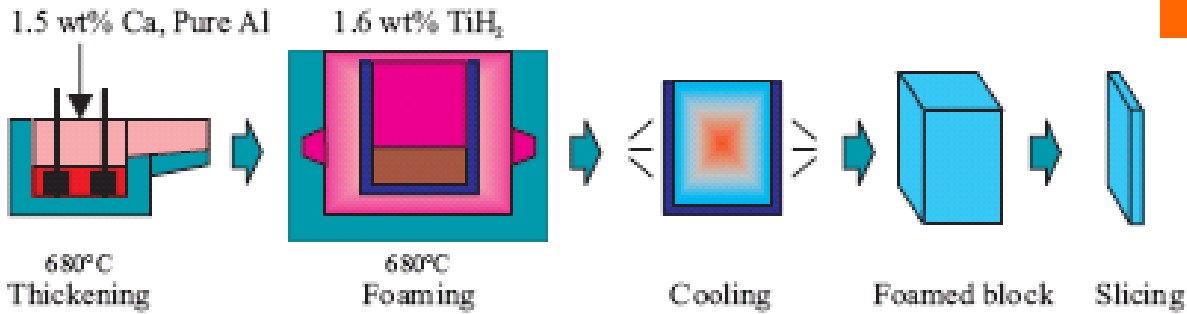


- **Da metallo allo stato fuso**
  - **Iniezione di gas nel fuso**
    - La schiuma è raccolta alla superficie e poi lavorata tipo “Cymat”
    - Direct-casting e Low pressure die casting tipo “Metcomb”
  - **Aggiunta di agenti schiumanti al fuso**
    - La schiuma è raccolta alla superficie e poi lavorata tipo “Alporas”

# CYMAT

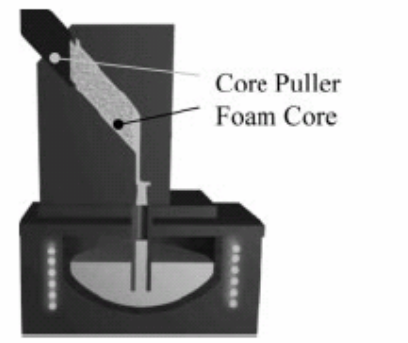


# ALPORAS



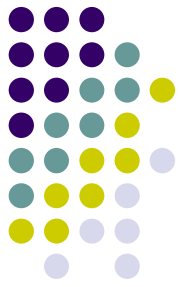
Direct casting

# Metcomb



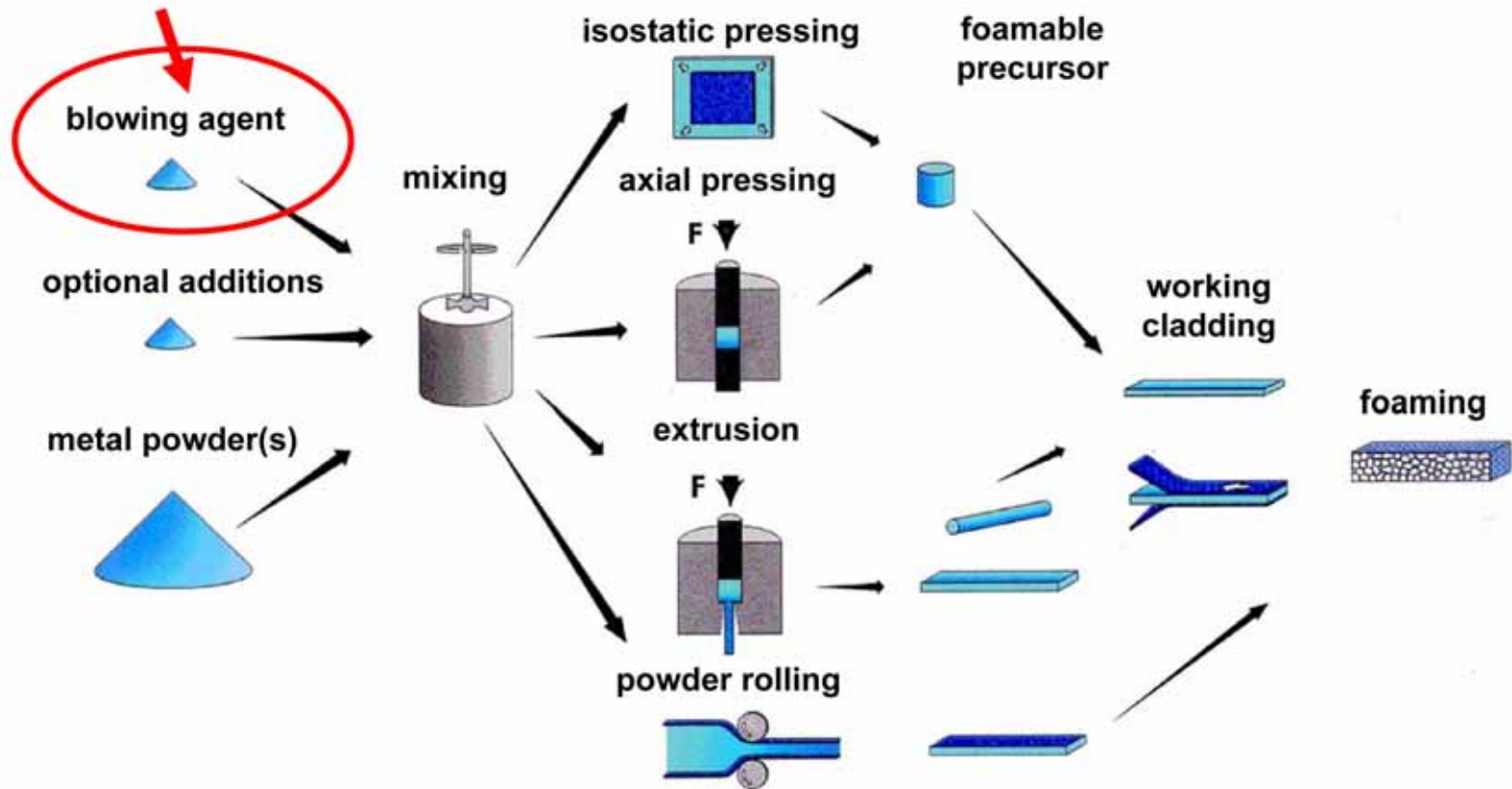
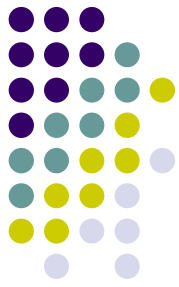
Low pressure die casting

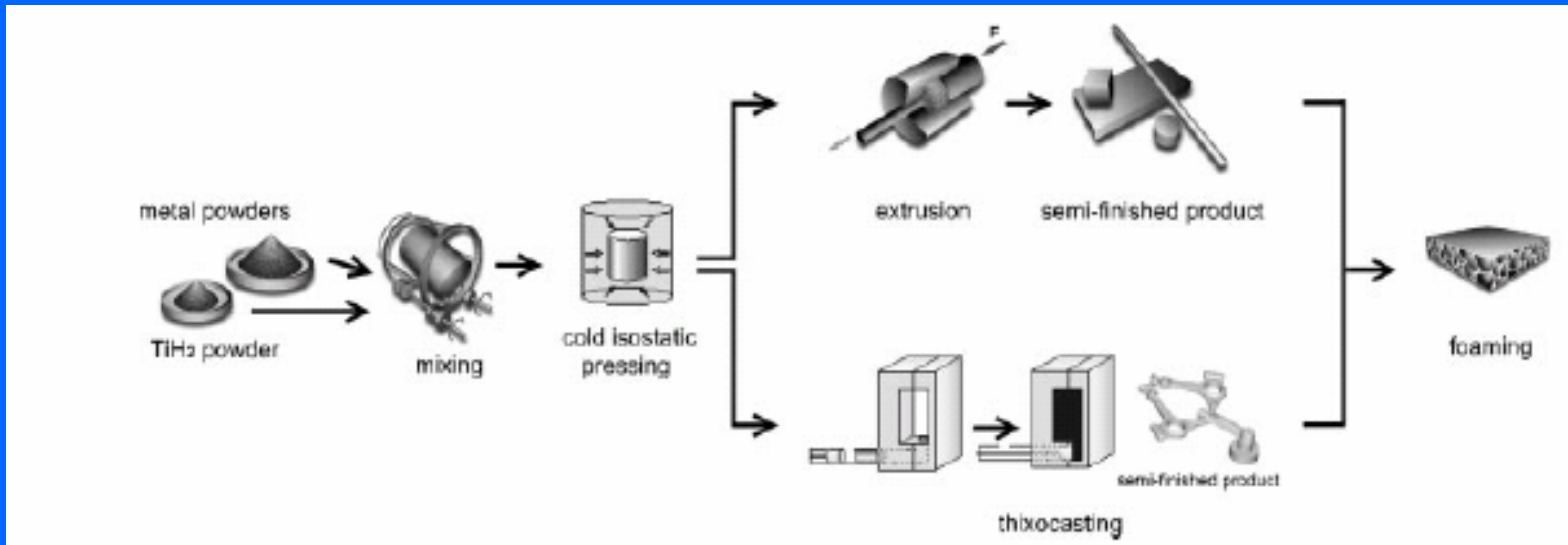
# Metodi per ottenere il riempimento in schiuma



- **Da precursori metallici solidi**
  - Compattazione di Polveri Metallurgiche
    - Pannelli sandwich e riempimenti tipo “Shunck”, “ALM”, “Alulight”
  - Thixocasting: thixofoam
    - “?”
  - Formgrip
    - “?”

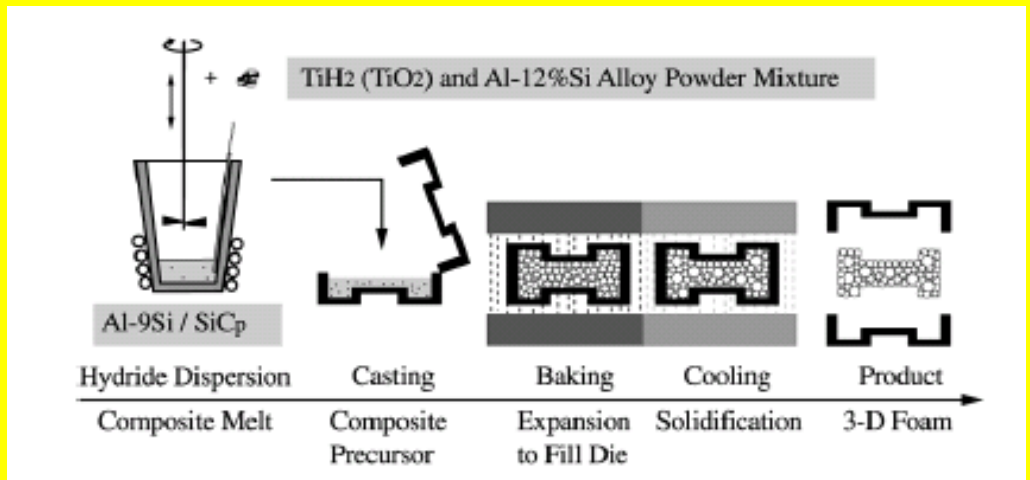
# Compattazione di polveri metallurgiche = Metodo PM





### Thixocasting

## NEAR NET SHAPING



### Formgrip

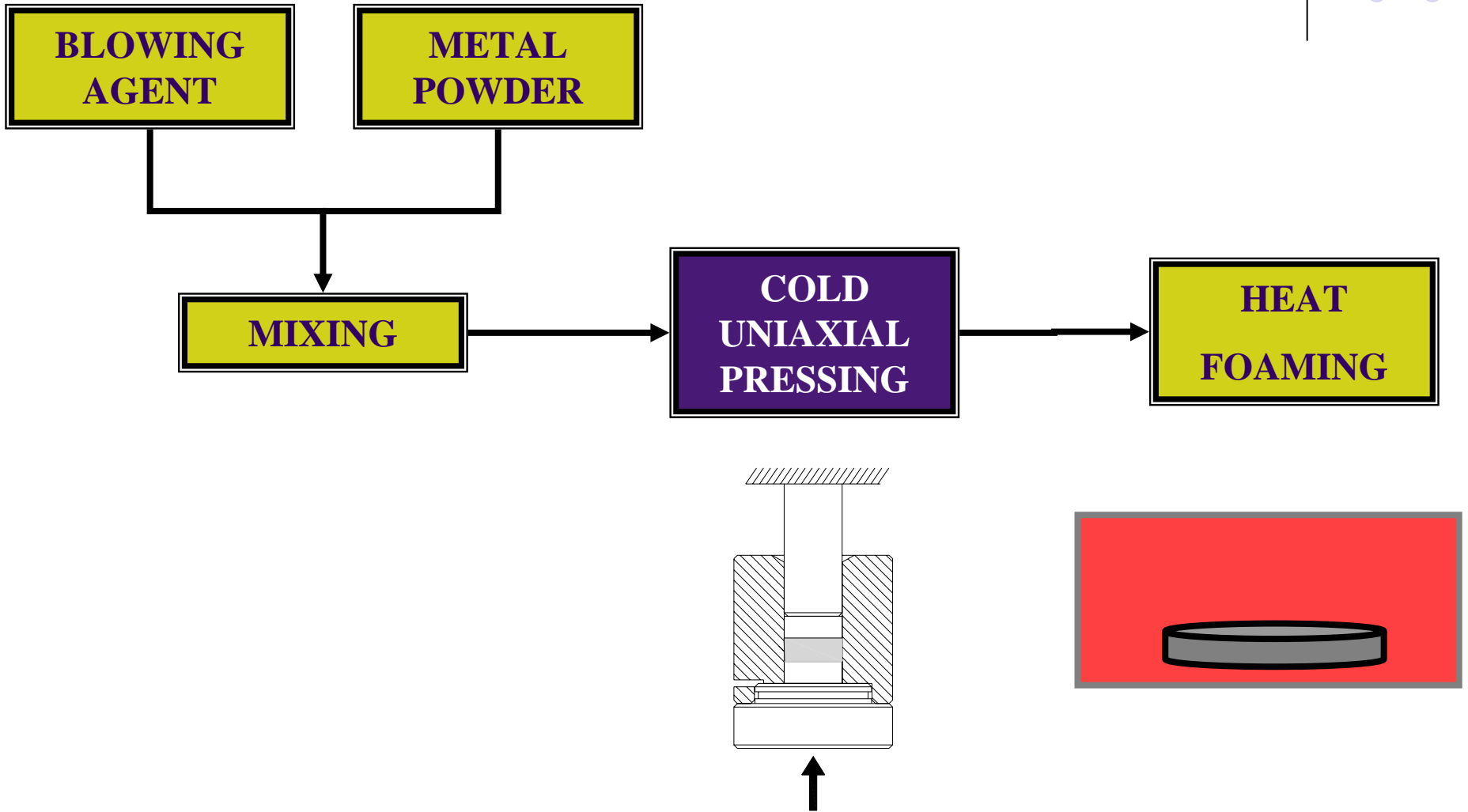
# **Evoluzione di schiume d'alluminio all'interno di profili cavi per applicazioni strutturali = il metodo PM**



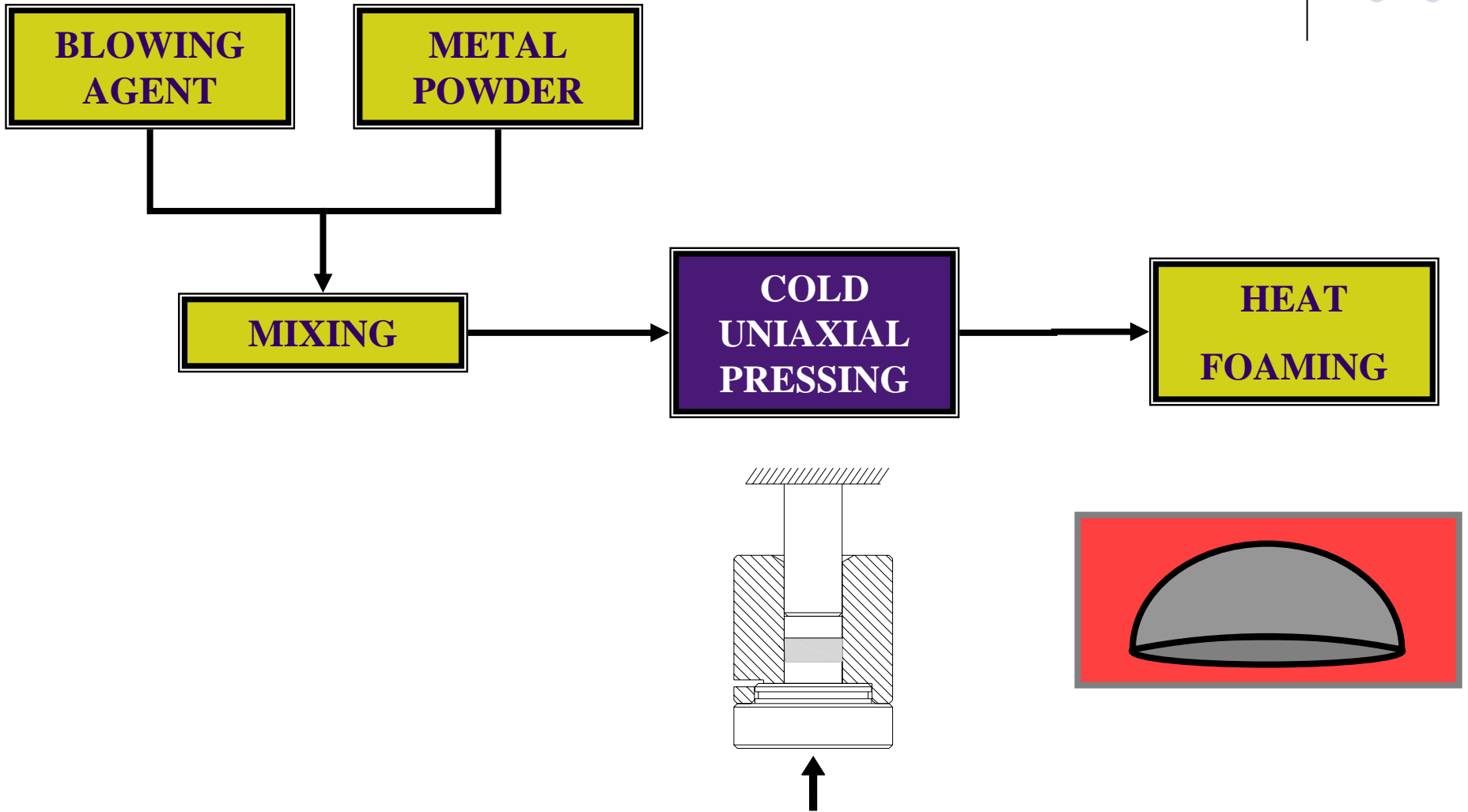
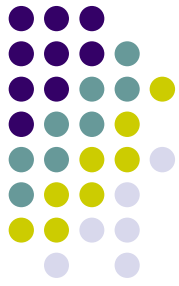
## **Alcuni aspetti fondamentali**

- Formazione e stabilità della schiuma**
- Morfologia dei pori**
- Adesione skin – core**
- Riproducibilità**

# Metodologia delle polveri



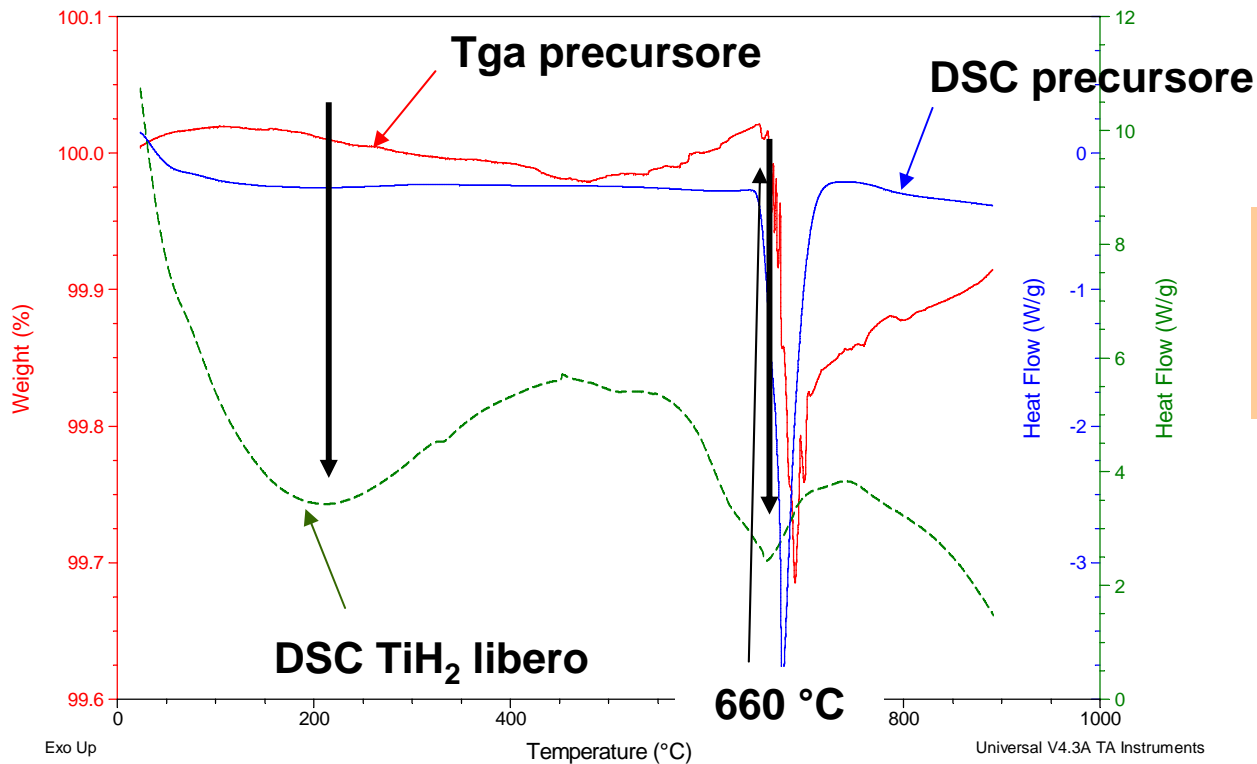
# Metodologia delle polveri



# Formazione della schiuma



Miscela di polveri  
Al (99,5 %) + TiH<sub>2</sub> (0,5%)



Calorimetria –  
Termogravimetria di  
un precursore PM

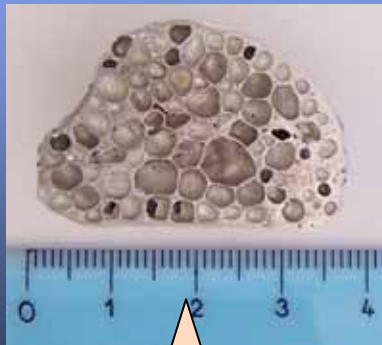
# Evoluzione di una schiuma



Solido plastico

Transizione solido-liquido

Liquido viscoso



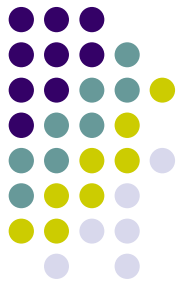
Fase iniziale

Fase di  
formazione

Fase metastabile

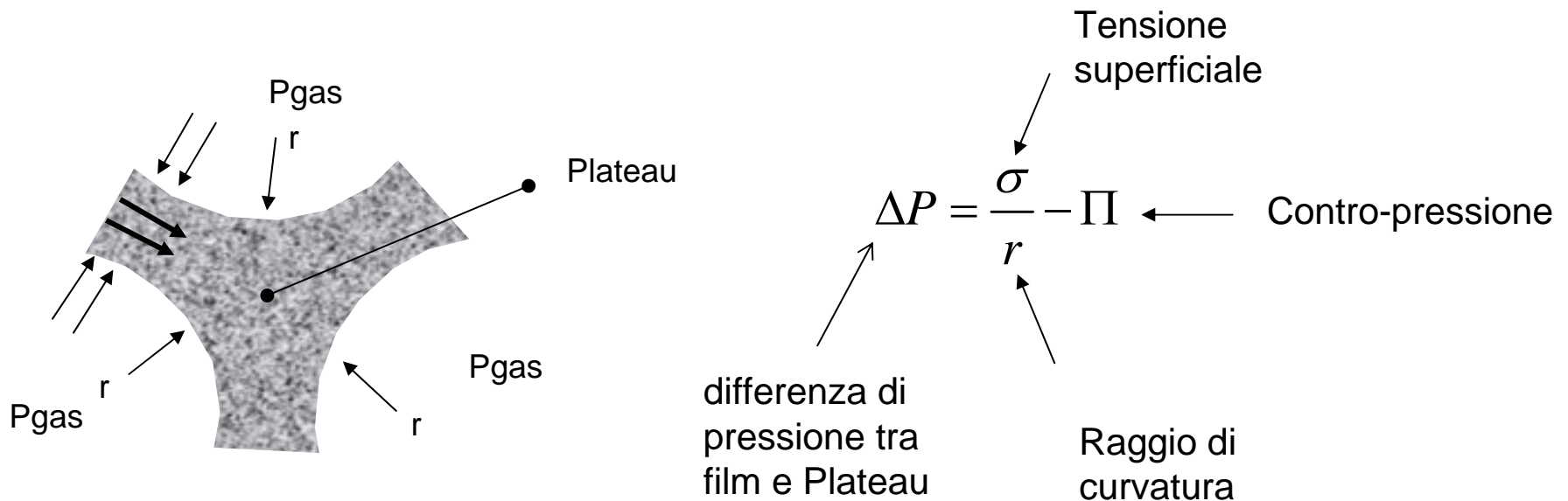
Coalescenza e  
drenaggio

# Formazione e stabilità delle schiume metalliche



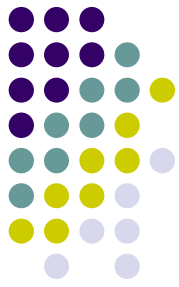
Un liquido puro non è capace di formare una schiuma

Una schiuma si deve formare ma deve anche “sopravvivere”



**Meccanismo di assottigliamento del film liquido tra le bolle**

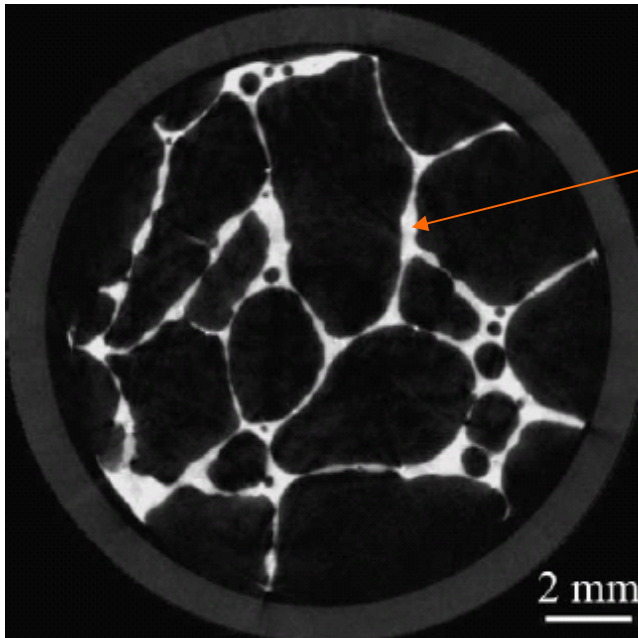
# Formazione e stabilità delle schiume metalliche



Una schiuma metallica è un sistema in continua evoluzione, durante la sua formazione, che passa attraverso stati di metastabilità

- *Flusso: il movimento delle bolle di gas durante lo “schiumaggio” per effetto delle variazioni di pressione o per effetto di forze di superficie*
- *Drenaggio: il flusso del metallo liquido per la gravità e per forze capillari*
- *Rottura: una perturbazione, termica o meccanica, che provoca instabilità del film che separa le bolle e le fa accrescere in modo incontrollato*
- *Coalescenza: diffusione del gas dalle bolle piccole a quelle grandi per differenza di pressione*

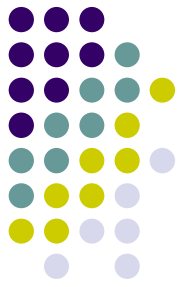
# Le schiume metalliche sono sistemi metastabili (permanenti)



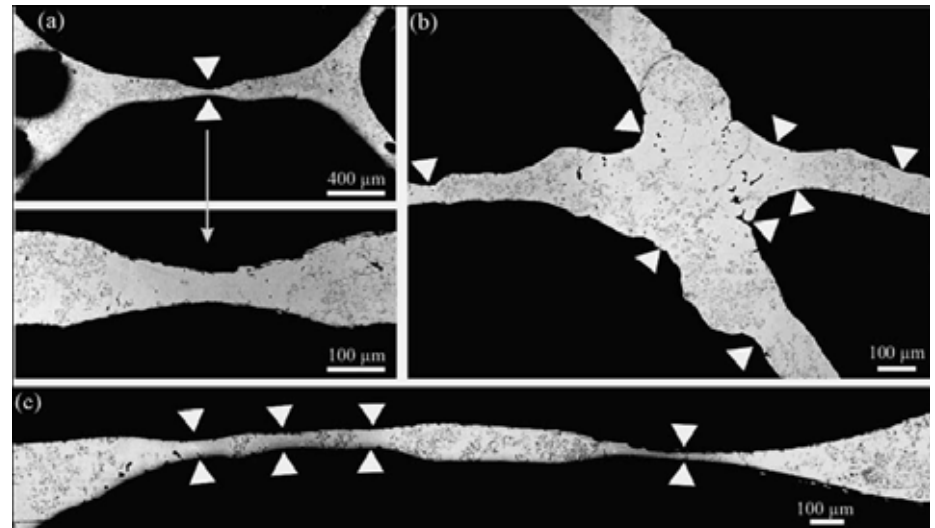
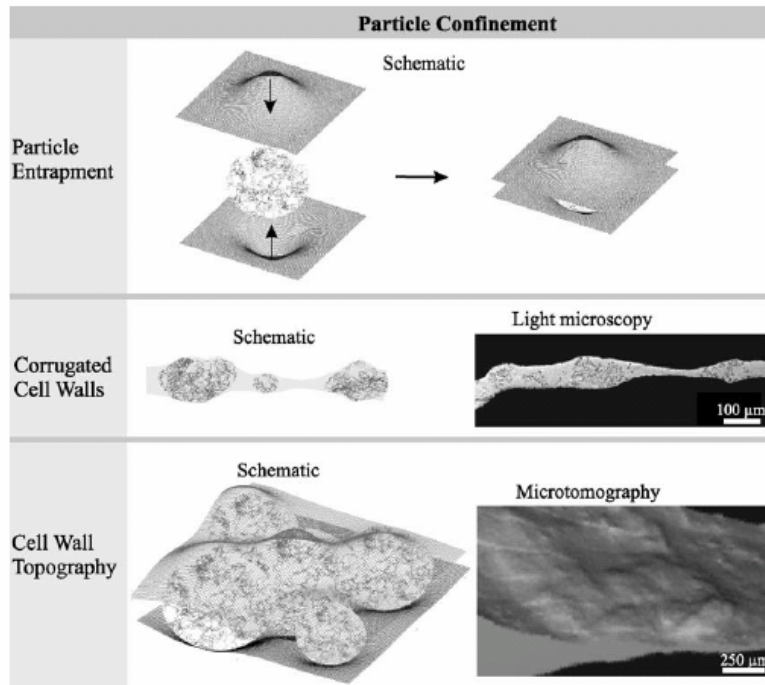
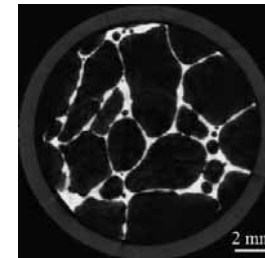
Network continuo di ossido

Tomografia di una schiuma Al (99,9%) e  $\text{TiH}_2$  (0,5%)

# Le schiume metalliche sono sistemi metastabili (permanenti)



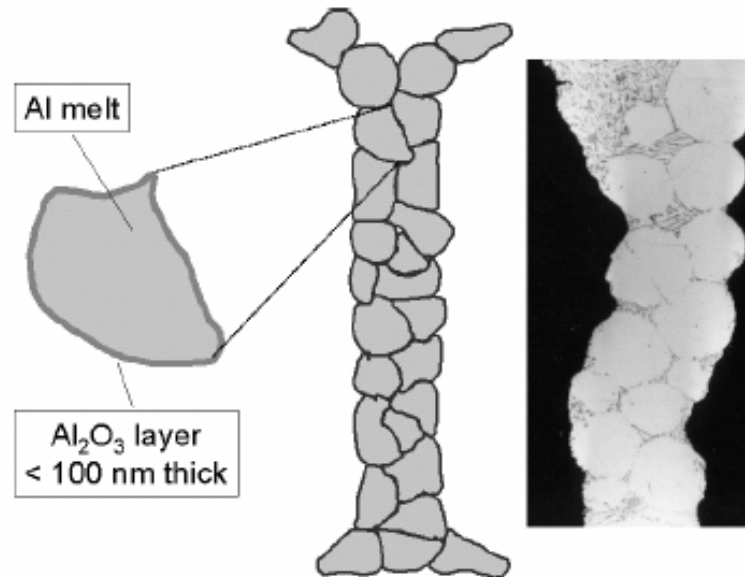
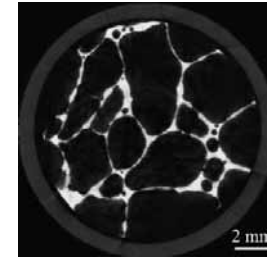
Alcuni possibili meccanismi di stabilizzazione



# Le schiume metalliche sono sistemi metastabili (permanenti)

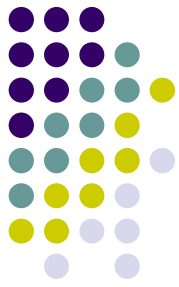


Alcuni possibili meccanismi di stabilizzazione

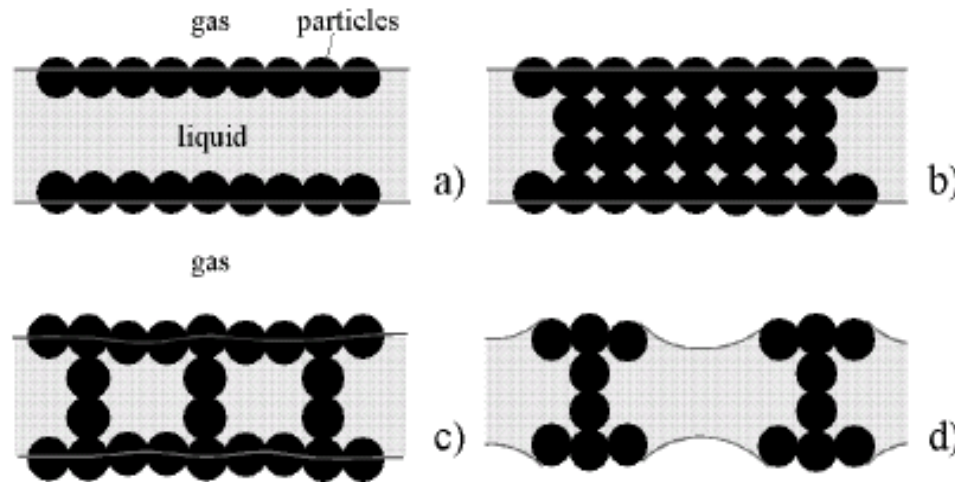
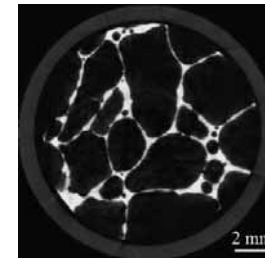


**Struttura a bamboo**

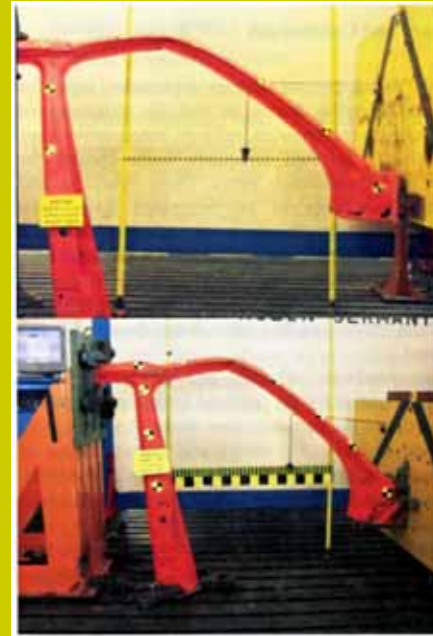
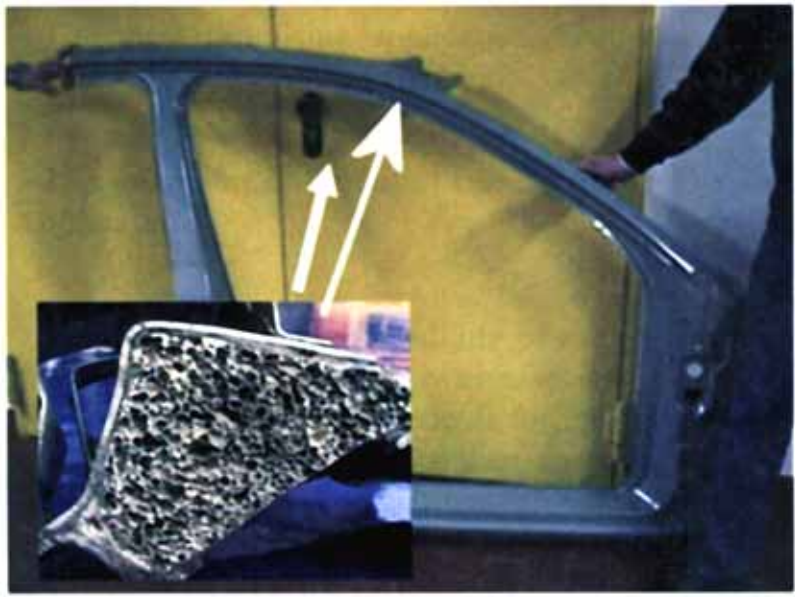
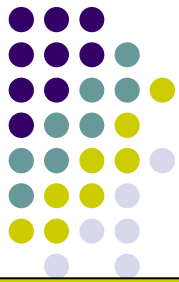
# Le schiume metalliche sono sistemi metastabili (permanenti)



Alcuni possibili meccanismi di stabilizzazione



# Il riempimento di stampi

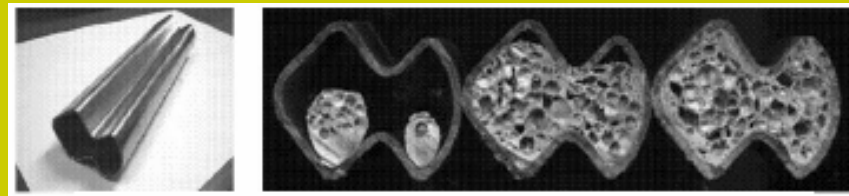
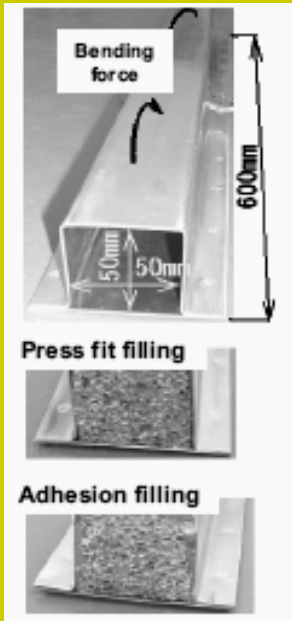
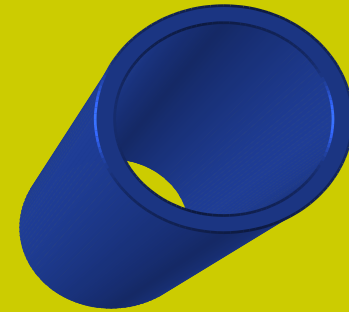
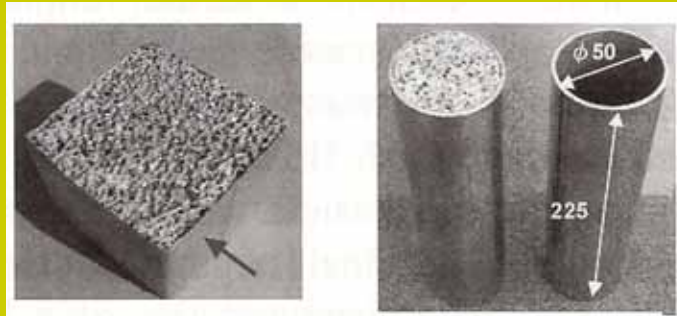
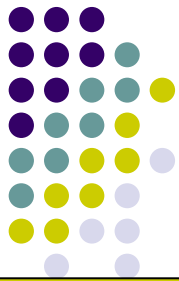


stampo

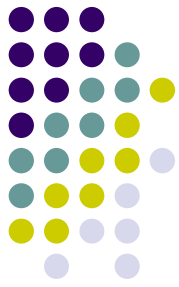


10cm

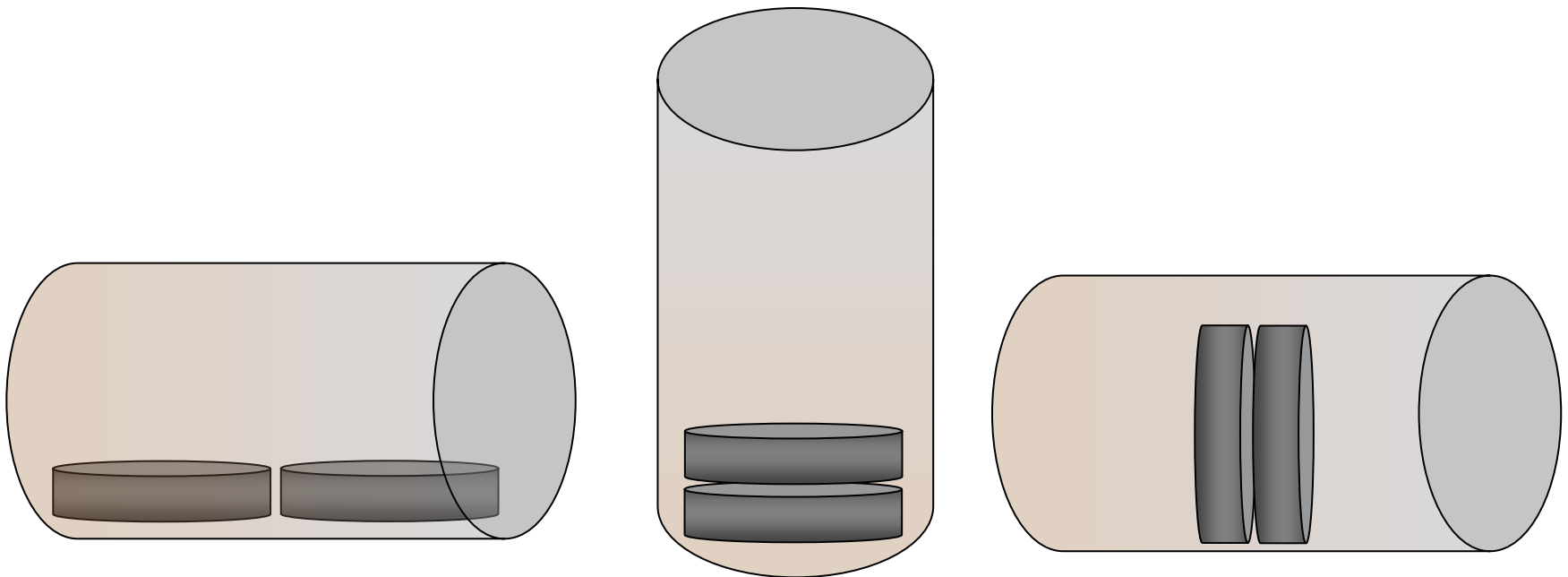
# Il riempimento di profili



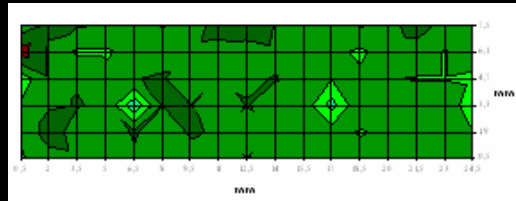
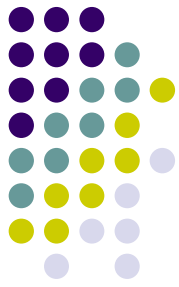
# Evoluzione di schiume d'alluminio all'interno di profili cavi per applicazioni strutturali



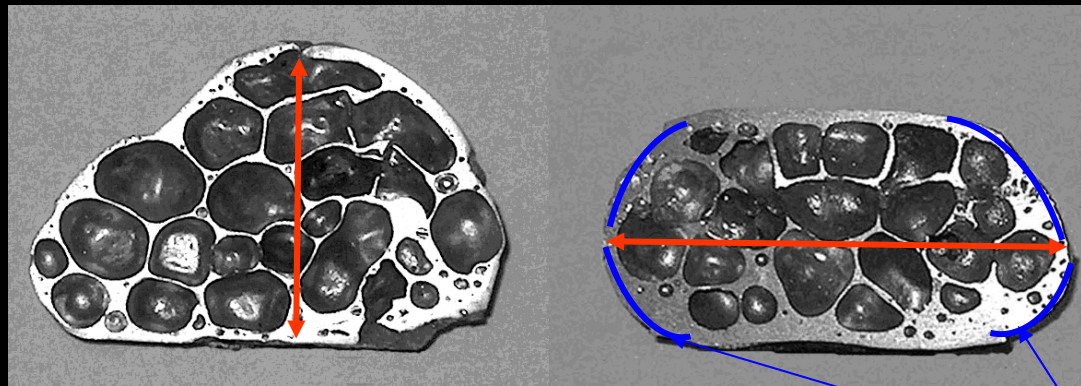
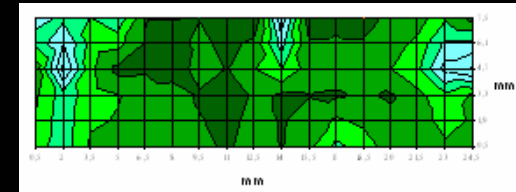
Riempimento di un cilindro d'acciaio con schiuma d'alluminio



# Evoluzione di schiume d'alluminio all'interno di profili cavi per applicazioni strutturali

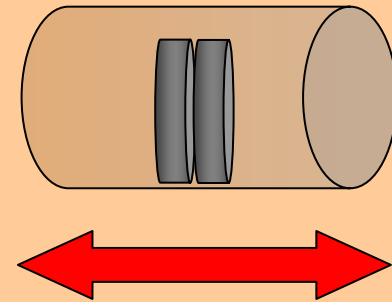
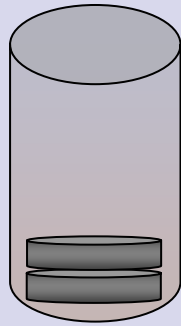
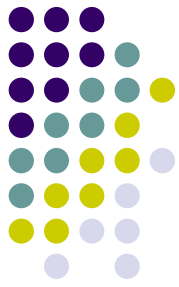


Mappe di microdurezza sulla sezione del verde

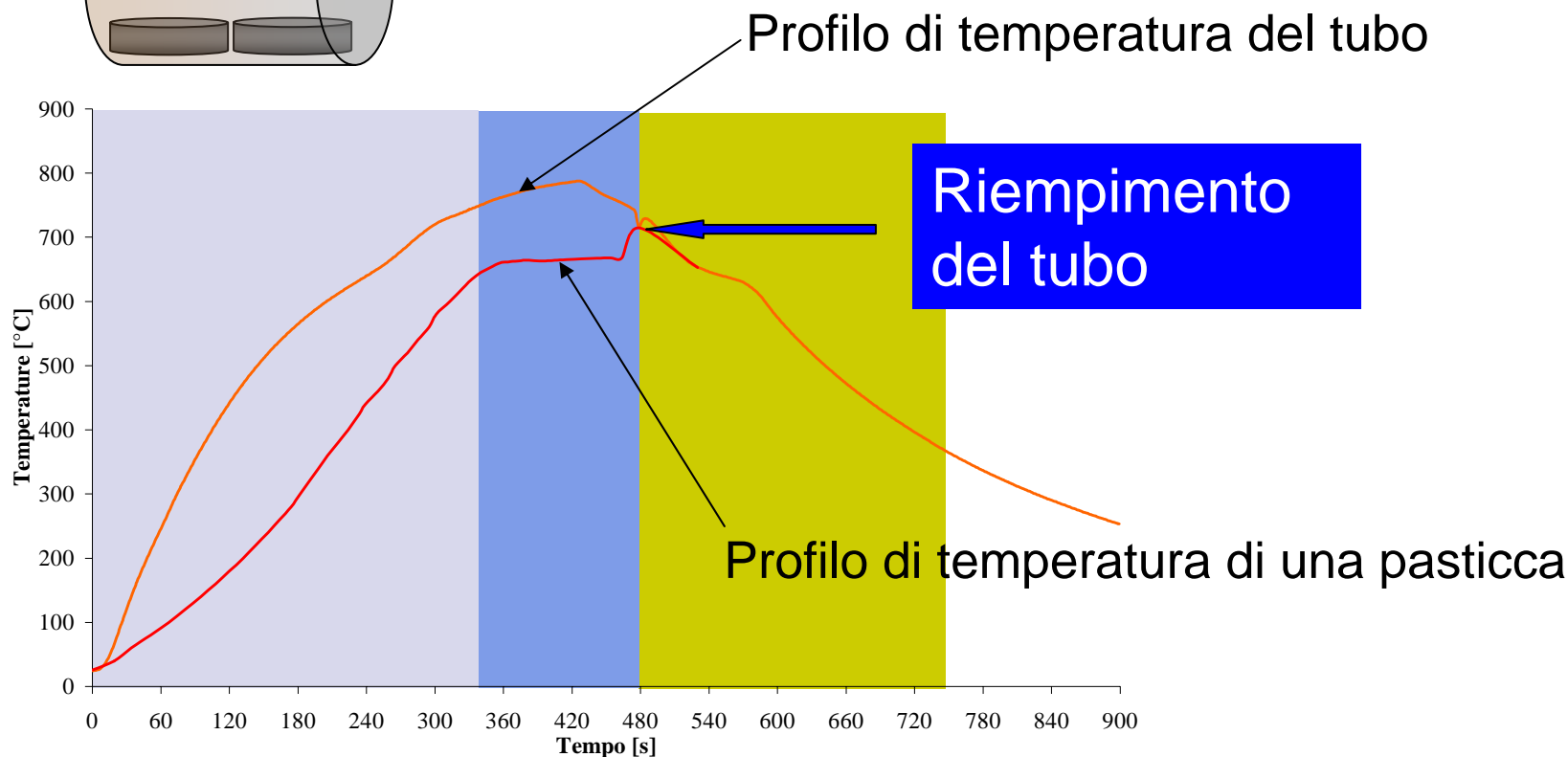
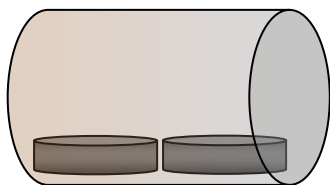


non foamed Al

# Evoluzione di schiume d'alluminio all'interno di profili cavi per applicazioni strutturali

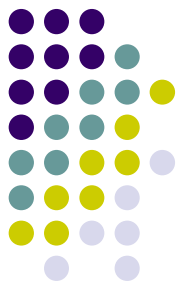


# Evoluzione di schiume d'alluminio all'interno di profili cavi per applicazioni strutturali

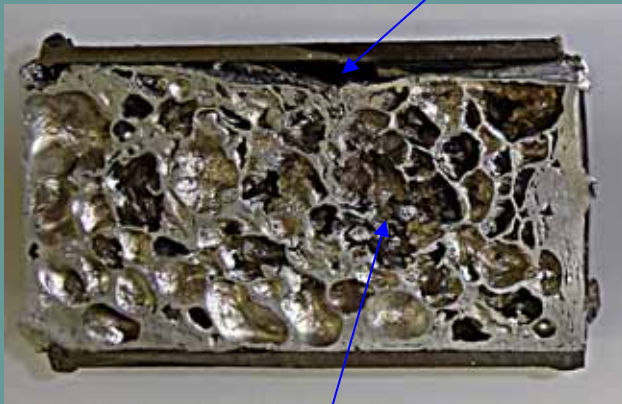


riscaldamento – espansione – raffreddamento

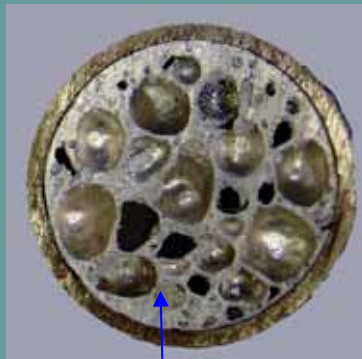
# Evoluzione di schiume d'alluminio all'interno di profili cavi per applicazioni strutturali



collasso



Rottura delle  
pareti e  
coalescenza

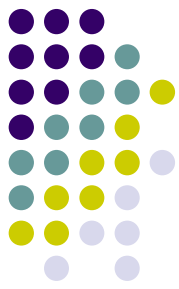


Rotondità dei  
pori



drenaggio

# Evoluzione di schiume d'alluminio all'interno di profili cavi per applicazioni strutturali



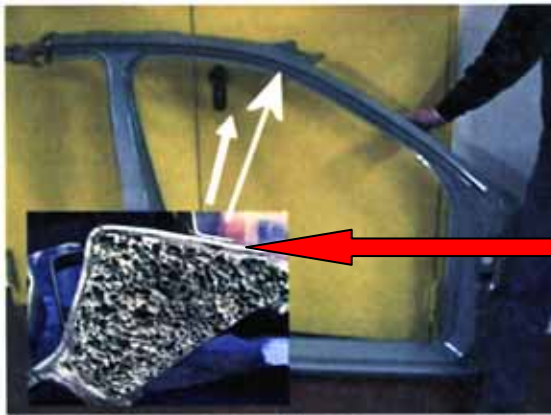
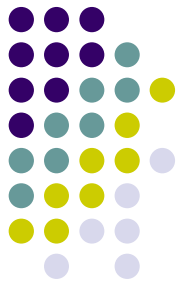
superficie di separazione



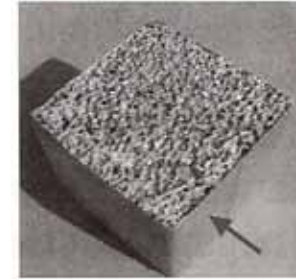
l'interfaccia tra le pasticche è scomparsa



# Evoluzione di schiume d'alluminio all'interno di profili cavi per applicazioni strutturali

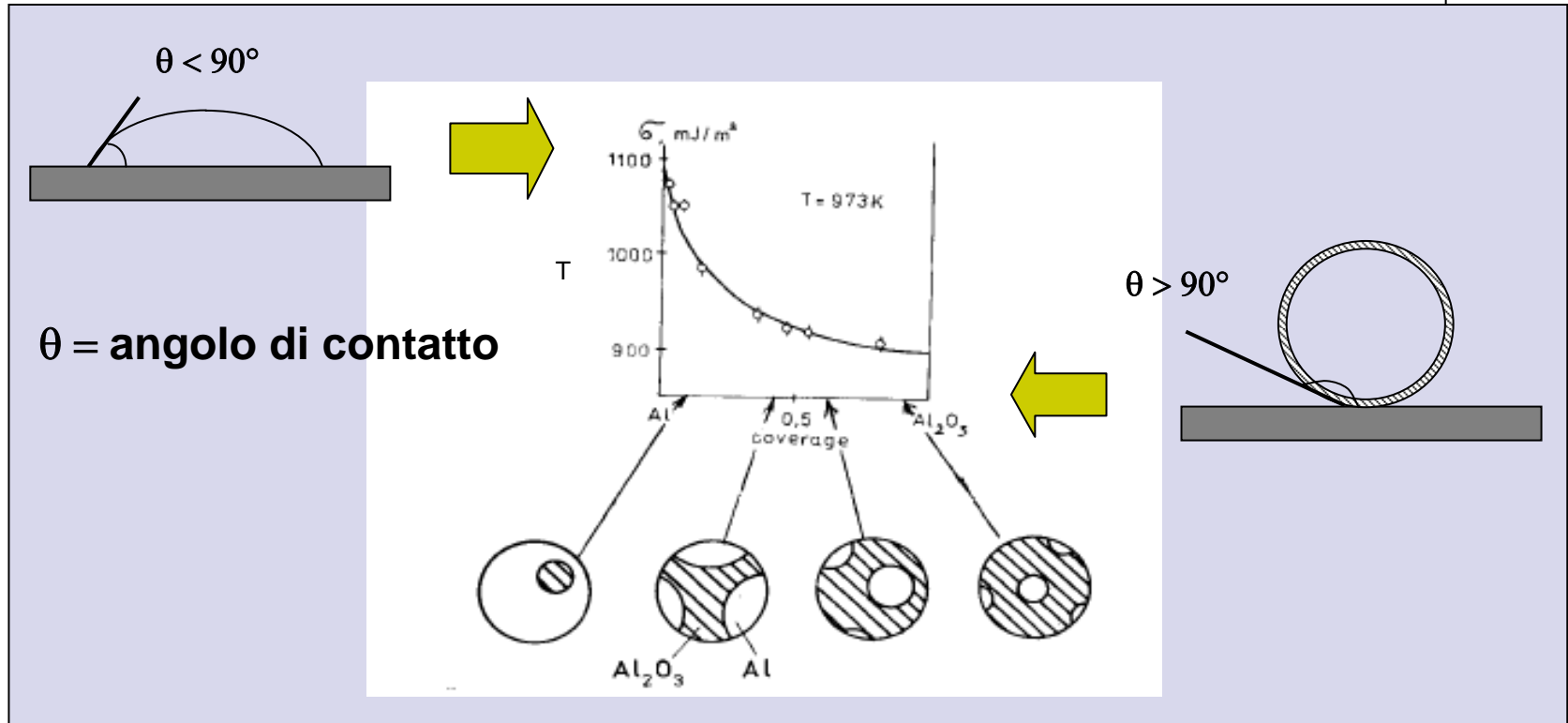
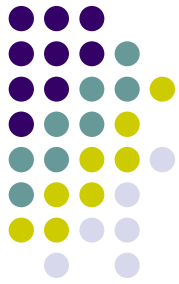


**incollati**



**Superficie ossidata**

# Adesione skin - core



**tensione superficiale  $\sigma$  dell'alluminio fuso al variare della ricopertura di ossido alla superficie**

# Adesione skin - core



L'impiego di elementi di lega dell'alluminio può aiutare a migliorare la schiumabilità dei precursori ed il controllo dei fenomeni all'interfaccia skin-core dei componenti

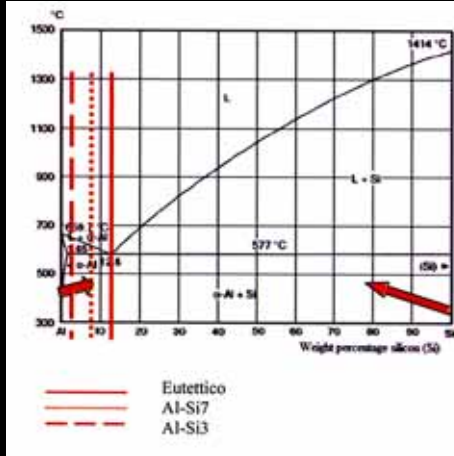
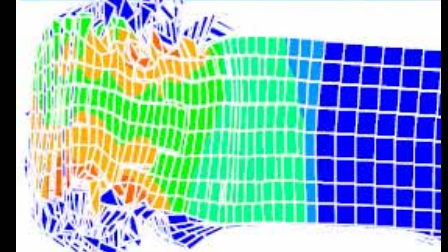
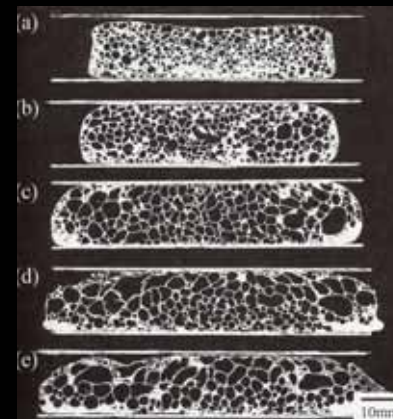
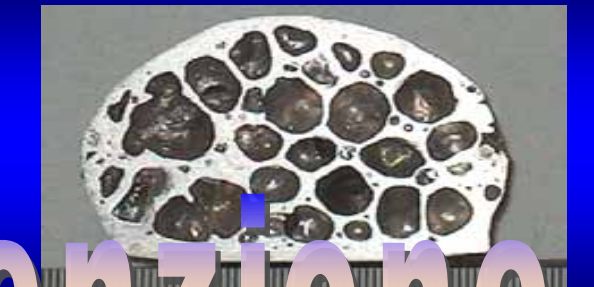
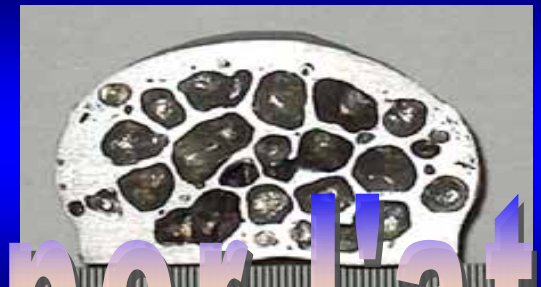
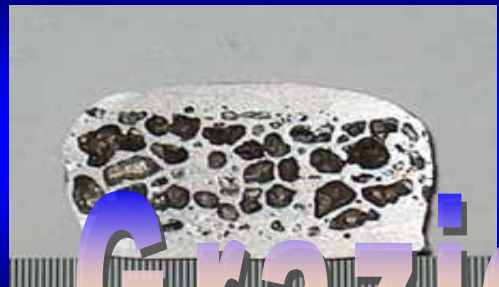
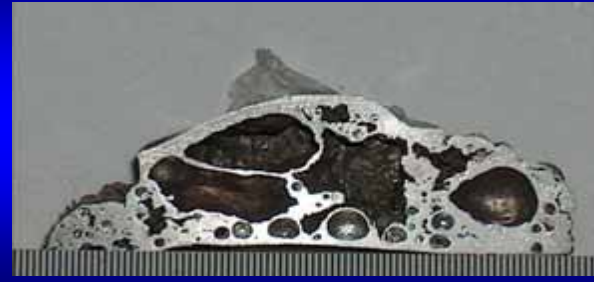


Figura 4.1: contatto tra particelle di Al e particelle di Si.





Grazie per l'attenzione

