

## OBIETTIVO ALLUMINIO reporter per un giorno

## COME SI PRODUCE

### Il punto di partenza

L'alluminio è abbondantemente presente nella crosta terrestre di cui, in forma di composti vari, costituisce circa l'8% in peso. Il più significativo tra i minerali che lo contengono, è la bauxite, che si trova nelle aree tropicali e subtropicali e si presenta sotto forma polverulenta granulosa o rocciosa di colore rosa, crema, rossa, bruna, gialla o grigia, in funzione della propria composizione.

Mentre la bauxite è di facile estrazione, la via per isolarne il contenuto di alluminio è alquanto complessa e viene completata con due processi successivi:

Un processo chimico, per estrarre dalla bauxite l'allumina ("Processo Bayer").

Un processo elettrolitico per produrre dall'allumina l'alluminio ("Processo Hall-Heroult").

Raramente l'alluminio è commercializzato perfettamente puro. Normalmente richiede, infatti, l'aggiunta di piccole parti di altri metalli che ne esaltino le diverse caratteristiche. Queste composizioni si chiamano leghe. Qualunque sia la lega il contenuto di alluminio è comunque normalmente superiore al 90%.

Dopo aver ottenuto la lega desiderata, l'alluminio è pronto per essere lavorato.

### Il processo chimico

La bauxite, formata approssimativamente dal 75% d'allumina idrata ( $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$  e  $Al_2O_3 \cdot H_2O$ ) è frantumata, ridotta in polvere e miscelata con una soluzione di soda caustica.

La pasta così ottenuta, accumulata in un'autoclave chiamato "digestore", viene arricchita ulteriormente di soda caustica in soluzione. Nel digestore, ad alta temperatura e sotto pressione, la soda caustica dissolve l'allumina idrata, generando una soluzione chiamata alluminato di sodio e che corrisponde a questa formula  $2NaOH + \text{Bauxite} \rightarrow Na_2O \cdot Al_2O_3 + 4H_2O + \text{RESIDUI}$

Mentre il residuo del trattamento viene rimosso tramite sedimentazione e filtraggio, la soluzione d'alluminato è invece pompata in vasche di precipitazione, dove subisce l'aggiunta di triidrato d'allumina in polvere, estremamente pura, con funzione di insemillante.

Nel contenitore, costantemente agitato e gradualmente raffreddato, l'allumina triidratata contenuta nella soluzione precipita sulle particelle insemnanti. Le parti solide di triidrato vengono quindi separate dalla soluzione di soda caustica per mezzo di filtrazione sotto vuoto, mentre la soluzione di soda caustica viene recuperata e riutilizzata nelle produzioni successive.

Il triidrato, calcinato a temperature comprese tra i 900 e 1100°C produce l'evaporazione dell'acqua.



L'ossido d'alluminio ( $Al_2O_3$ ) che ne risulta è una polvere bianca nell'aspetto simile al sale fino, conosciuta come allumina calcinata.

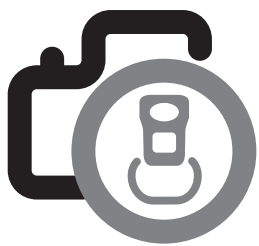
### Il processo elettrolitico

L'alluminio si ottiene riducendo l'allumina, separando cioè l'alluminio dall'ossigeno. L'allumina calcinata è ridotta in metallo all'interno di celle elettrolitiche dette "pots", collegate in serie ad un generatore di corrente diretta. Le celle sono vasche rettangolari di grandi dimensioni, costruite in acciaio, e rivestite con mattoni refrattari e carbone dove in un elettrolita fuso, l'allumina si dissolve consentendo l'estrazione dell'alluminio.



Consorzio  
Imballaggi  
Alluminio

[www.obiettivoalluminio.it](http://www.obiettivoalluminio.it)



## OBIETTIVO ALLUMINIO reporter per un giorno

# TEMA TEMA TEMA



CiAI Consorzio  
Imballaggi  
Alluminio

[www.obiettivoalluminio.it](http://www.obiettivoalluminio.it)

L'elettrolita è una mistura di criolite ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) fusa con additivi utilizzati per ottenere densità – conduttività e viscosità del bagno necessarie alla separazione dell'alluminio.

L'additivo principale è il fluoro d'alluminio ( $\text{AlF}_3$ ) ottenuto dal fluorospato ( $\text{Ca F}_2$  grezzo) che evapora facilmente reagendo con il vapore acqueo per cui deve essere costantemente rimpiazzato.

Sospesi nell'elettrolita vi sono un certo numero di anodi di carbone a forma rettangolare che fungono da elettrodi positivi ed agiscono come conduttori elettrici. Gli elettrodi sono una combinazione di coke, di petrolio e pece.

La corrente elettrica passa dagli anodi attraverso l'elettrolita alla cella e riduce le mescole di allumina in alluminio ed ossigeno. L'alluminio si accumula sul fondo, dove svolge anche il ruolo di catodo del processo. Questo processo viene chiamato elettrolisi.

L'ossigeno liberato si deposita sull'anodo di carbone generando biossido di carbonio ( $\text{CO}_2$ ) gassoso e consumando l'anodo. Per questa ragione gli anodi vengono cambiati frequentemente. In questa fase del processo produttivo dell'alluminio primario si consuma una notevole quantità di energia elettrica, tra i 14 ed i 17 chilowatt/ora per chilogrammo.

A intervalli regolari l'alluminio fuso viene travasato, con un sistema a sifone, dalle celle in grossi crogiuoli e trasferito in forni di attesa, dove viene miscelato/legato con altri elementi che ne esalteranno le caratteristiche richieste dall'uso finale.

Dopo il controllo della qualità ottenuta può essere solidificato in lingotti per mezzo di colata diretta o addirittura colato in forma di prodotti semifiniti.

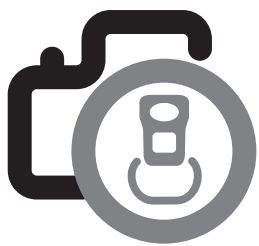
### Le leghe in alluminio

L'alluminio che troviamo così frequentemente nelle case, nei mezzi di trasporto e nelle mille applicazioni industriali non è quasi mai allo stato puro; al contrario, richiede di solito l'aggiunta di piccole quantità di altri metalli, che ne rafforzino determinate proprietà. Di solito, il contenuto in alluminio è pari o superiore al 90%.

Alcuni elementi sono frequentemente usati per migliorare le qualità dell'alluminio: durezza e compattezza, resistenza meccanica (per esempio al peso), resistenza alla corrosione, malleabilità, cioè facilità ad essere lavorato e colato in forme diverse. Gli elementi maggiormente utilizzati in lega con l'alluminio sono rame, zinco, magnesio, manganese e silicio.

- Il silicio: migliora la colabilità e riduce la dilatazione; si usa in edilizia
- Il magnesio: aumenta la resistenza alla corrosione in ambiente alcalino e in mare, aumenta la malleabilità; è molto usato per le lattine
- Il manganese: aumenta la resistenza meccanica e alla corrosione; è usato anch'esso per le lattine, spesso insieme al magnesio
- Il rame: accresce la resistenza meccanica, soprattutto a caldo; è usato nell'industria automobilistica, aerospaziale, etc.
- Lo zinco: soprattutto se associato al magnesio, conferisce una elevata resistenza meccanica, trova quindi largo impiego nell'industria meccanica, siderurgica, automobilistica, etc.

Sono in uso anche altri elementi, quali il litio (sempre più utilizzato nell'industria



## OBIETTIVO ALLUMINIO reporter per un giorno

aerospaziale là dove leggerezza e resistenza devono essere presenti al massimo grado); il cromo e il titanio che aumentano la compattezza dei prodotti; e molti altri.

Ma ecco la classificazione delle possibili leghe e degli stati fisici fondamentali stabilita dall'UNI (Ente Nazionale Italiano di Unificazione).

### Le otto grandi famiglie di leghe

Alluminio puro	usi elettrici
Leghe Al-Cu (alluminio-rame)	prodotti estrusi
Leghe Al-Mn (alluminio-manganese)	architettura, lattine
Leghe Al-Si (alluminio-silicio)	trasporti
Leghe Al-Mg (alluminio-magnesio)	lattine, coperchi
Leghe Al-Mg-Si (alluminio-magnesio-silicio)	materie metalliche
Leghe Al-Zn (alluminio-zinco)	industria bellica
Altre leghe speciali	scambiatori di calore

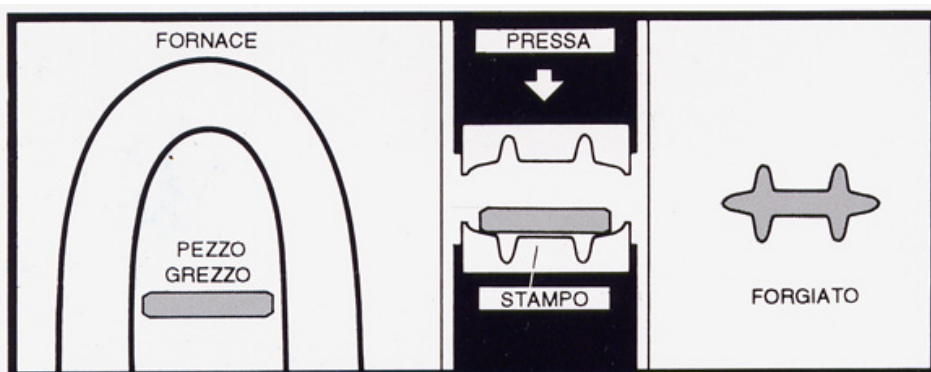
### I 5 stati fisici

- F > grezzo di lavorazione > risultato di lavorazione plastica
- O > ricotto > addolcimento termico
- H > incrudito > risultato combinato di lavorazione plastica e trattamento termico
- W > solubilizzato > stato instabile di lega naturalmente invecchiabile
- T > trattato termicamente > ricerca di uno stato fisico attraverso il solo trattamento termico

### Lavorazione dei prodotti in alluminio

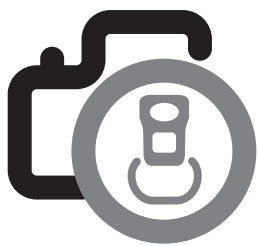
#### \_ Forgiatura

In questo processo la forma finale si ottiene comprimendo con forza nello stampo una pastiglia di alluminio caldo (400/450° C). La pressione viene applicata da una pressa o da un maglio e obbliga il metallo a riempire la cavità dello stampo. La produzione di prodotti forgiati può iniziare con pezzi grezzi in forma di sbocciati; piastre ottenute per laminazione; barre di estrusione.



I magli, la cui forza di spinta può essere compresa tra i 250 ed i 2.500 chili, vengono comunemente usati per produrre pezzi con peso oscillante tra i 50 grammi e i 100 chili. La pressa meccanica ad azione veloce con potenza compresa tra le 300 e le 10.000 tonnellate è oggi di uso più comune del maglio nella produzione di parti semiprecise che superano i 25 chili. Per pezzi più complessi, o di maggior precisione, si preferiscono infine presse idrauliche con potenze comprese tra le 500 e le 50.000 tonnellate.

La forgiatura è preferita ad altre tecniche di lavorazione quando il pezzo deve garantire elevate combinazioni di resistenza meccanica e di tenacità a frattura,



**OBIETTIVO  
ALLUMINIO**  
reporter  
per un giorno

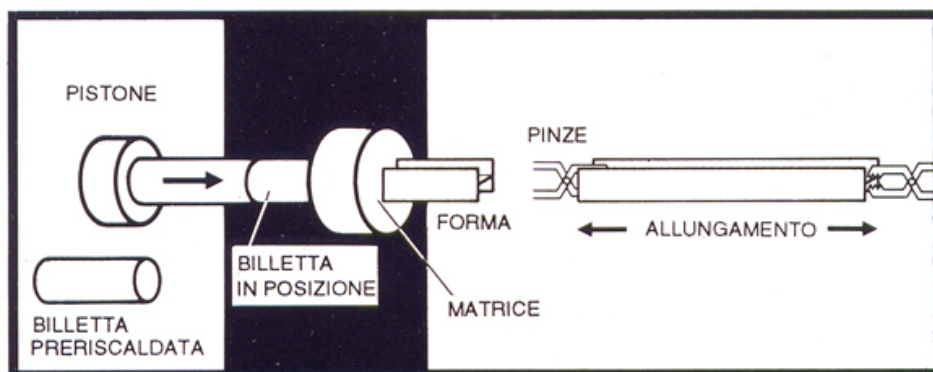
ad esempio nei pezzi destinati all'aeronautica (carrelli di atterraggio, pale d'elica, ruote), o di molti pezzi meccanici (pistoni, bielle, pedali etc.).

#### Estrusione

Il processo di estrusione permette di ottenere - a costi contenuti - prodotti di forme complesse. Una billetta di alluminio preriscaldata (450/500° C), normalmente a forma cilindrica, è costretta a defluire, sotto enorme pressione, attraverso uno stampo ("matrice") in acciaio, trasformando il suo volume originale in quello di un lungo profilato a sezione costante. Il disegno del foro praticato nello stampo corrisponde alla forma che prenderà la billetta estrusa.

Tubi estrusi e parallelepipedi forati sono ottenuti inserendo un mandrino in acciaio dentro lo stampo. L'alluminio fluisce forzatamente tra il mandrino e la matrice, creando la forma del mandrino stesso all'interno della sezione il cui profilo esterno è determinato dalla matrice.

Le finestre, porte e rivestimenti di facciata sono esempi comuni dell'uso di forme estruse, così come i tubi usati in giardinaggio o per l'illuminazione stradale. Estrusi di dimensioni maggiori sono usati invece nella costruzione di carrozze ferroviarie, rimorchi, aerei e sovrastrutture navali.



In pratica, ovunque si manifesti l'esigenza di avere un componente di forma intricata, caratterizzato da una sezione costante e da un certo sviluppo in lunghezza, il problema può essere risolto con un estruso in alluminio. Più di altre tecniche, l'estrusione offre infatti al progettista eccezionali opportunità creative, sia dal punto di vista funzionale, sia da quello estetico.

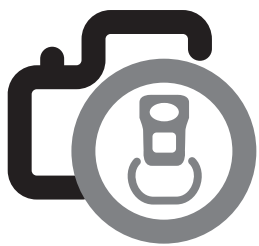
#### Estrusione per impatto

Conosciuta anche con il nome di "estrusione a rimonta", ha tali caratteristiche di peculiarità sia sotto l'aspetto tecnico, sia considerando l'ampiezza del settore applicativo, che è senz'altro meglio riconoscerle una fisionomia propria. Una pastiglia di alluminio a forma di disco è posta in uno stampo che è aperto soltanto da un lato. Quindi entra in funzione un punzone spinto dal maglio che penetra nello stampo. Sotto questa spinta, l'alluminio rimonta verso l'alto, andando ad occupare l'interstizio che esiste tra le pareti dello stampo e il punzone. In questa risalita il metallo forma le pareti dell'oggetto. Raggiunto il fine corsa, il punzone torna indietro, trascinando l'oggetto fuori dallo stampo.

Tubetti deformabili di alluminio per prodotti cosmetici, farmaceutici e alimentari. Usando stampi e punzoni diversi si può ottenere un'ampia varietà di forme (retangolari, ovali o rotonde). Lo spessore delle pareti può essere variato per creare nervature di rinforzo. È un procedimento ideale per la creazione di contenitori per aerosol. Il prodotto più noto ottenuto per estrusione a rimonta è il tubetto flessibile per crema da barba, per pasta dentifricia, per cosmetici e così via. Anche i contenitori rigidi e semi-rigidi sono prodotti con questo sistema e sono destinati agli



[www.obiettivoalluminio.it](http://www.obiettivoalluminio.it)



## OBIETTIVO ALLUMINIO reporter per un giorno

MA  
TEA  
RIA

utilizzi più diversi: dai flash delle macchine fotografiche ai comandi delle valvole, a equipaggiamenti militari.

### \_ Laminazione

I fili in alluminio, alcune forme tonde e alcuni tubi sono prodotti per mezzo di un processo di laminazione a freddo, chiamato trafilatura, nel quale il pezzo di partenza è costretto a fluire attraverso uno stampo. Nella produzione di tubi, il prodotto di partenza è rappresentato a sua volta da pezzi estrusi con pareti spesse, trafilati poi attraverso sezioni sempre più piccole sino a raggiungere il diametro desiderato. Un mandrino interno al tubo ne mantiene inalterata la forma.

Cavi di alluminio consistenti di un numero di fili a lunghezza unica avvolti tra loro sono normalmente usati in linee di trasmissione aerea, mentre cavi di servizio e da costruzione vengono impiegati praticamente in ogni settore.

Un nuovo tipo di sistema di filo a contatto è stato sviluppato per essere usato nelle ferrovie e nei sistemi di spostamento di massa (filobus etc.).

I tubi trafilati sono usati in una varietà di applicazioni che spaziano dall'aeronautica alle strutture per la recreazione fino agli oggetti di cucina (es: aspirapolveri, pentole etc.). Le barre sono usate nella costruzione edilizia e nell'industria meccanica in forma di rivetti, chiodi, viti e bulloni.

### \_ Trafilatura

I fili in alluminio, alcune forme tonde e alcuni tubi sono prodotti per mezzo di un processo di laminazione a freddo, chiamato trafilatura, nel quale il pezzo di partenza è costretto a fluire attraverso uno stampo. Nella produzione di tubi, il prodotto di partenza è rappresentato a sua volta da pezzi estrusi con pareti spesse, trafilati poi attraverso sezioni sempre più piccole sino a raggiungere il diametro desiderato. Un mandrino interno al tubo ne mantiene inalterata la forma.

Cavi di alluminio consistenti di un numero di fili a lunghezza unica avvolti tra loro sono normalmente usati in linee di trasmissione aerea, mentre cavi di servizio e da costruzione vengono impiegati praticamente in ogni settore.

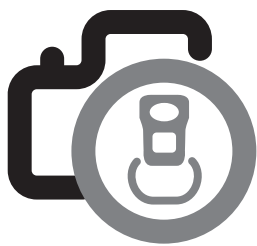
Un nuovo tipo di sistema di filo a contatto è stato sviluppato per essere usato nelle ferrovie e nei sistemi di spostamento di massa (filobus etc.).

I tubi trafilati sono usati in una varietà di applicazioni che spaziano dall'aeronautica alle strutture per la recreazione fino agli oggetti di cucina (es: aspirapolveri, pentole etc.). Le barre sono usate nella costruzione edilizia e nell'industria meccanica in forma di rivetti, chiodi, viti e bulloni.

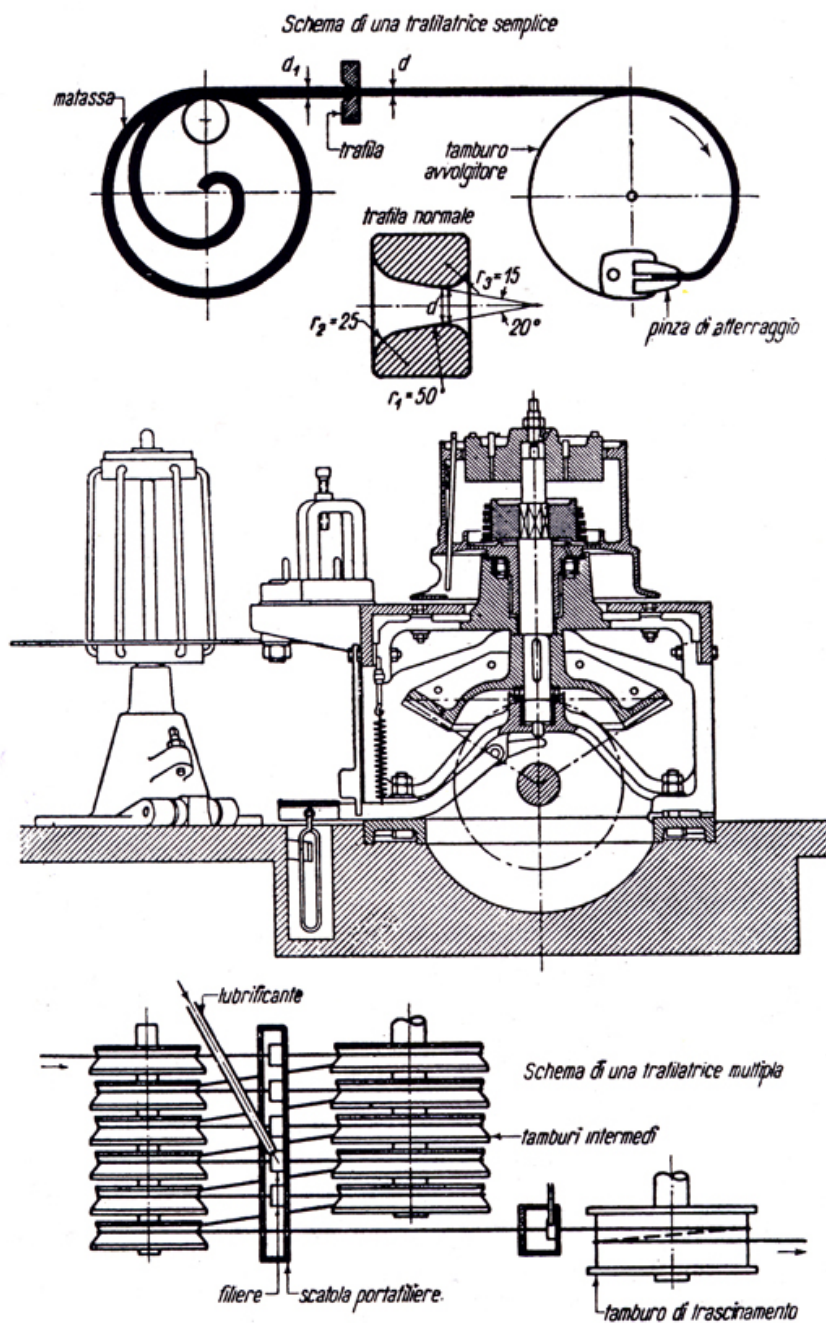


CiAI Consorzio  
Imballaggi  
Alluminio

[www.obiettivoalluminio.it](http://www.obiettivoalluminio.it)



OBIETTIVO  
ALLUMINIO  
reporter  
per un giorno



#### — Colata continua e colata semicontinua

La colata continua è una delle tecniche usate per trasformare l'alluminio fuso in vergelle che sono poi trasformate con un processo di trafilatura a freddo in fili, oppure in rotoli (strip casting) adatti a essere laminati in nastri.

In questo processo il metallo fuso alimenta un impianto di colata continua che opera in tandem con laminatoi, dai quali l'alluminio emerge in forma di rotolo, vergelle o lastre destinate a ulteriori lavorazioni.

La colata semicontinua con raffreddamento ad acqua permette di solidificare l'alluminio fuso in pani (per rifusione), placche o billette destinate a lavorazioni successive.

#### — Fusione

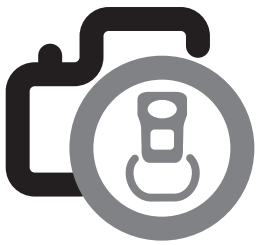
L'alluminio può assumere varie forme grazie alla colatura in stampi, che possono essere:

- "stampi a perdere", ossia realizzati in sabbia o, più genericamente, in materiale refrattario; questi stampi, a loro volta, possono essere prodotti mediante un



Consorzio  
Imballaggi  
Alluminio

www.obiettivoalluminio.it



## OBIETTIVO ALLUMINIO reporter per un giorno

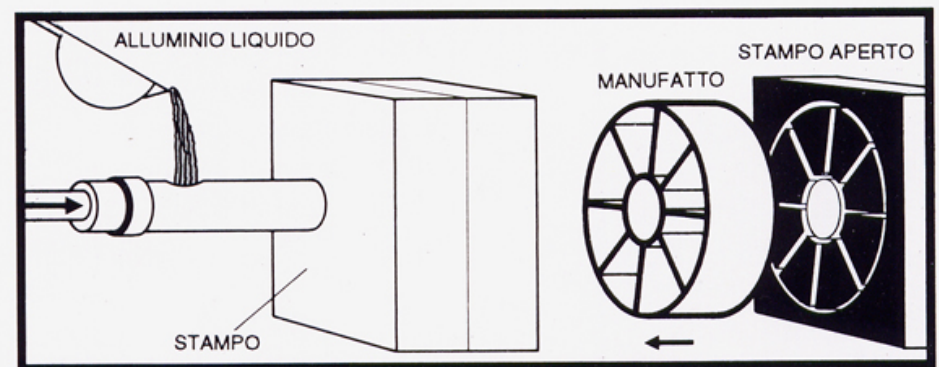
- “modello permanente” (quindi riutilizzabile) o mediante un “modello a perdere”;
- “stampi permanenti”, solitamente in acciaio o in ghisa.

I prodotti in alluminio così ottenuti si chiamano “getti di fusione” e i sistemi principali per produrli sono la colata e la pressocolata.

Nella colata, il metallo fuso viene versato nello stampo, dove solidifica a pressione atmosferica.

La pressocolata è utilizzata quando si devono produrre grandi numeri di oggetti dalle pareti sottili e dalle dimensioni precise. Nella pressocolata l'alluminio fuso è spinto da una forte pressione nella cavità dello stampo, dove resta sino alla solidificazione.

Lo stampo permanente (la “conchiglia”) è impiegato quando vi siano da produrre grandi volumi di oggetti che non necessitino di lavorazioni ulteriori.



La colata in “stampo a perdere” si usa invece per piccole serie (per gioielli o per opere d'arte, ad esempio), ma anche per pezzi molto complessi. Dopo la solidificazione lo stampo viene distrutto.

L'industria dell'automobile è un importante utilizzatore di parti in alluminio fuso. Basti pensare alle ruote, ai collettori, alle pompe e agli alloggiamenti per trasmissioni automatiche. I pistoni del motore in alluminio dominano il mercato da più di trent'anni.

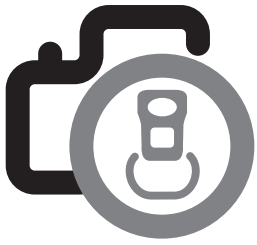
### \_ Tecniche di formatura

Le lamiere, le piastre e i tubi in alluminio che abbiamo visto scaturire da alcuni dei processi di lavorazione sin qui analizzati, sono splendidi semiprodotto, la cui lavorazione deve essere però completata.

È qui che interviene il processo di “formatura”, grazie a cui è possibile imprimere a questi semiprodotto una forma tridimensionale più complessa.

Le tecniche di formatura più usate nel settore dell'alluminio sono:

- la piegatura, da cui nascono, ad esempio, i pannelli scatolati;
- la formatura alla pressa, per ottenere, sempre ad esempio, pannelli della carrozzeria delle automobili;
- la formatura per stiramento, dove la lamiera viene formata grazie alla applicazione combinata di forze di trazione e di piega (in pratica, è come l'affondo di un punzone in una lamiera le cui estremità sono bloccate rigidamente da morse);
- l'imbutitura alla pressa, ossia il processo da cui nascono, ad esempio, le pentole in alluminio e, più in generale, per le grandi produzioni di forme cave nell'industria dell'imballaggio;
- l'imbutitura al tornio, che serve per ottenere pezzi dalle forme cave e simmetriche attorno al proprio asse centrale (coni, emisferi e forme più complesse).



**OBIETTIVO  
ALLUMINIO**  
reporter  
per un giorno

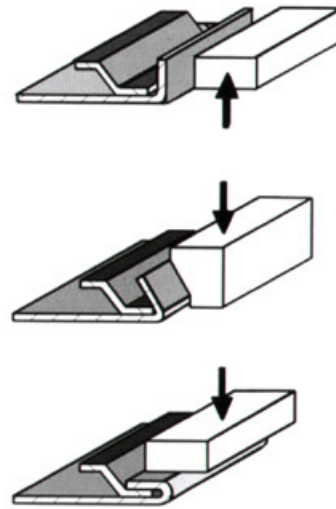


Figura 4 - Esempio della sequenza di piegatura (a 90°, 135°, 180°), per ottenere l'aggraffatura di due lamiere.  
(elaborazione da Talat)

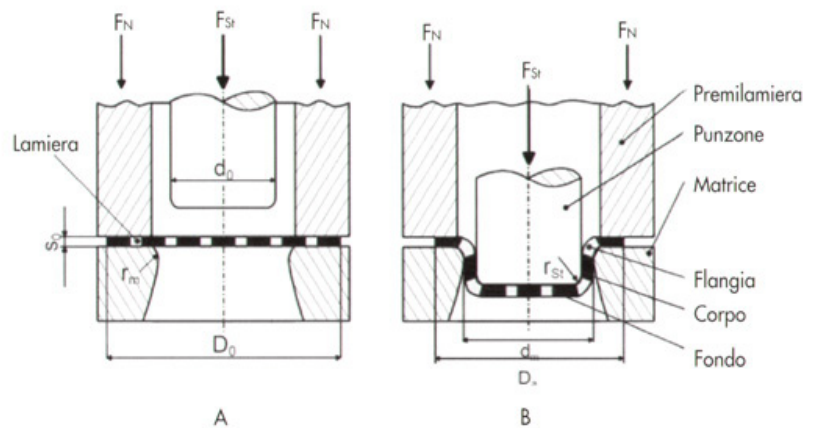


Figura 21 - Schema di principio della imbutitura alla pressa (deep-drawing).  
(fonte: Talat)

### \_ Tecniche di giunzione

I particolari in lega di alluminio possono essere collegati facendo uso di una ampia varietà di metodi, la cui scelta dipende da un grande numero di fattori:

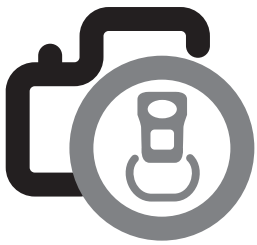
- forma del giunto
- qualità e sicurezza richieste (un conto è saldare un manico a una pentola, un conto è saldare tra loro giunti di un aereo)
- entità della spesa che si vuole sostenere
- tipo di materiale a cui il giunto deve essere unito.

A questo punto, possiamo decidere se utilizzare un processo di:

- saldatura (le leghe vengono fuse tra loro secondo differenti tipi di metodo)
- brasatura (le leghe vengono unite grazie a un materiale aggiunto)
- saldo-brasatura (una mescolanza tra i due tipi di giunzione)
- incollaggio (a pressione)
- procedimento meccanico (viti, bulloni, rivettatura etc.).



www.obiettivoalluminio.it



**OBIETTIVO  
ALLUMINIO**  
reporter  
per un giorno

#### \_ **Trattamento delle superfici**

È l'ultima fase della lavorazione. In particolare, il tipo di trattamento dipende dalle caratteristiche delle leghe utilizzate e dalla destinazione finale del pezzo.

Nel complesso, i trattamenti possono essere così sintetizzati.

- Trattamenti meccanici (lucidatura; sabbiatura, ossia pulizia realizzata mediante apparecchiature che sottopongono il pezzo a un potente getto di sabbia quarzosa mista ad aria; pallinatura: assomiglia alla sabbiatura ma al posto della sabbia si usano minuscole palline di ferro; spazzolatura, satinatura).
- Trattamenti chimici o elettrolitici di preparazione superficiale (la sgrassatura, ad esempio), che hanno lo scopo di mettere a nudo la superficie per aumentarne la lucentezza o per renderla più adatta a ricevere ulteriori trattamenti protettivi.
- Trattamenti di specifica protezione superficiale (la verniciatura o la "metallizzazione", ad esempio).



**CiAI** Consorzio  
Imballaggi  
Alluminio

[www.obiettivoalluminio.it](http://www.obiettivoalluminio.it)