

Laurea triennale in Disegno industriale

Materiali e Tecnologie – Modulo Proprietà dei Materiali

MATERIALI METALLICI



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Ing. Francesco Marra

A.A. 2018/2019

Materiali metallici

Materiali inorganici composti da elementi metallici

Legame metallico (elettroni liberi)

Elevate caratteristiche meccaniche

Deformabilità plastica

Buone conducibilità termica

Buone conducibilità elettrica

Riflettività e lucentezza



Legame chimico e struttura cristallina

Tutti i metalli a temperatura ambiente si presentano allo stato solido

Atomi sono disposti nello spazio in modo regolare, formando una struttura tridimensionale ordinata e ripetitiva chiamata reticolo cristallino.

Il legame tra gli atomi è il legame metallico

Gli elettroni si possono muovere facilmente tra i vari atomi del reticolo cristallino, formando quella che viene detta nuvola elettronica

Legame chimico e struttura cristallina

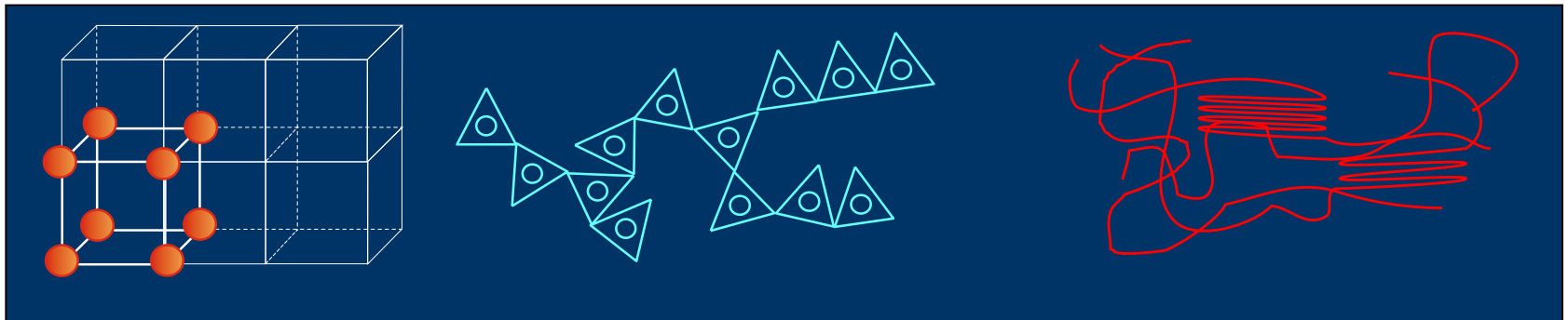
Il legame metallico è un legame forte e ciò determina le elevate proprietà meccaniche

La facilità di movimento degli elettroni determina le proprietà di conducibilità elettrica e termica dei metalli

Legame chimico e struttura cristallina

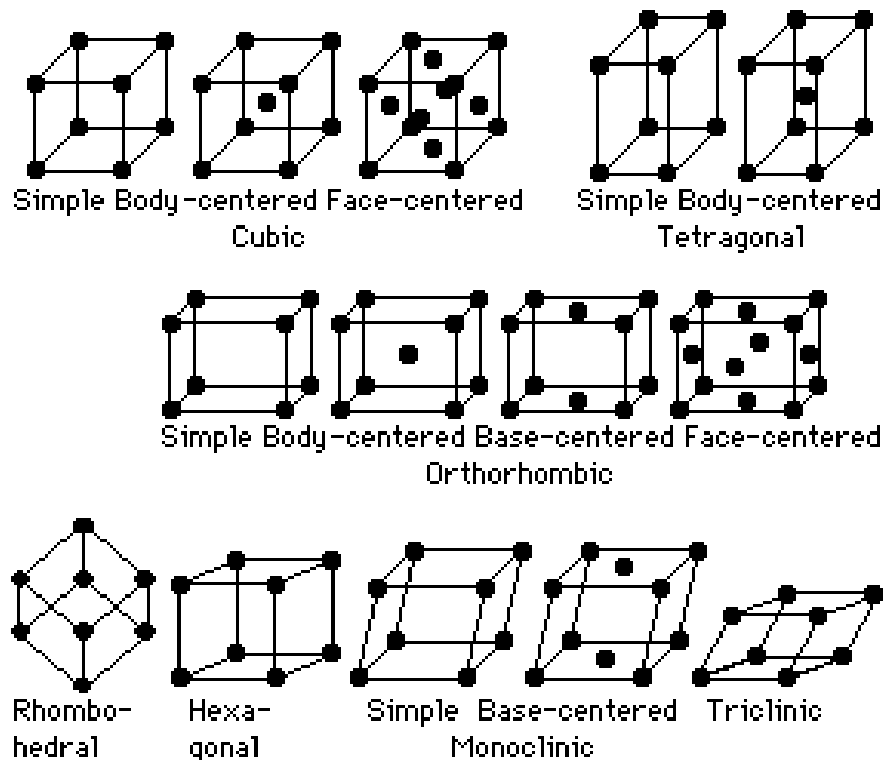
Il legame metallico è adirezionale e pertanto l'unico fattore che può determinare la formazione di un certo tipo di reticolo è l'efficienza di riempimento dello spazio

I metalli devono assumere una struttura cristallina compatta, che tende cioè a riempire il più possibile lo spazio disponibile di atomi



Legame chimico e struttura cristallina

Esistono solo 14 modi diversi, i cosiddetti reticoli di Bravais, per disporre gli atomi nello spazio



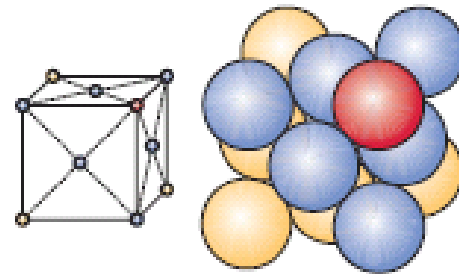
Legame chimico e struttura cristallina

I materiali metallici possono assumere struttura corrispondente solo ai 3 reticoli più compatti:

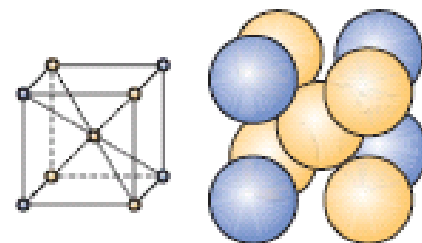
cubico a facce centrate (c.f.c.)

esagonale compatto (e.c.)

cubico a corpo centrato (c.c.c.)



CFC



CCC

Legame chimico e struttura cristallina

Alcuni metalli possono variare la struttura cristallina a seconda della temperatura (trasformazioni allotropiche)

il ferro presenta:

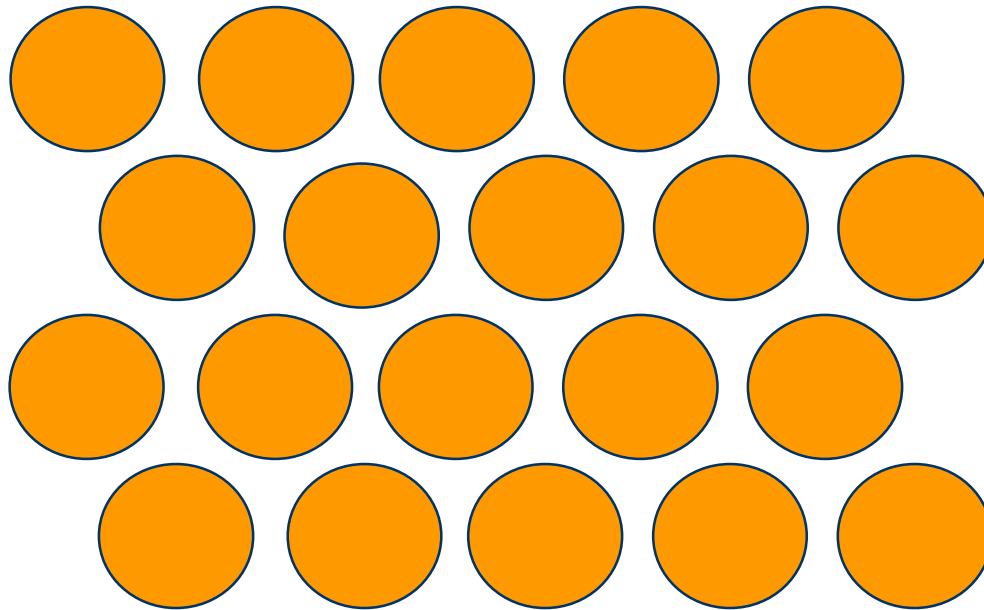
temperatura ambiente struttura ccc

al di sopra di 911 °C diventa cfc (fino a 1392 °C)

a 1392 °C ccc prima di fondere a 1536 °C

Difetti reticolari

La struttura dei metalli e delle leghe non è composta da un unico monocristallo perfetto



Difetti reticolari

La struttura dei metalli presenta difetti di vario tipo

possono essere localizzati in una zona limitata del cristallo, coinvolgendo

un numero ridotto di atomi e in tal caso si parla di difetti puntiformi

possono essere più estesi e in tal caso si hanno difetti lineari (in

particolare dislocazioni) o difetti di superficie (in particolare bordi di

grano)

La presenza dei difetti è alla base di alcune proprietà dei materiali

metallici

Difetti puntiformi

I difetti puntiformi possono essere costituiti da:

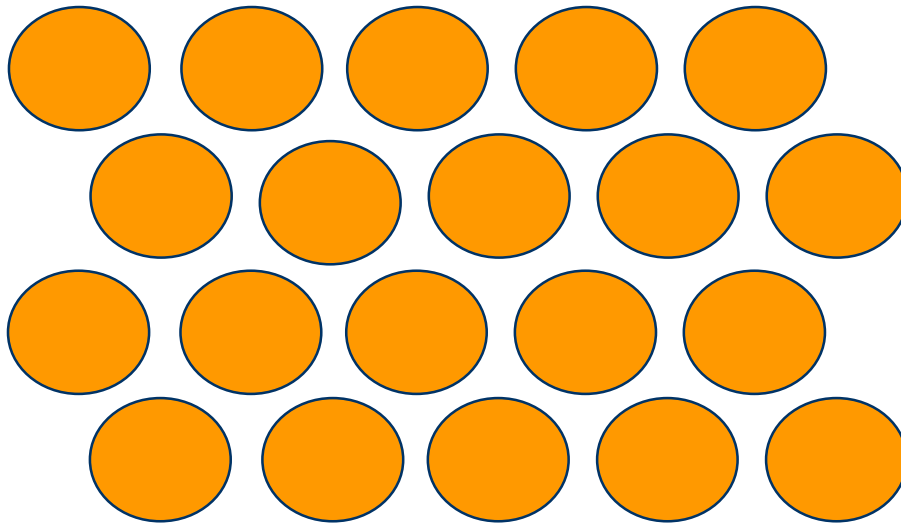
atomi interstiziali: atomi del metallo stesso che non occupano una normale posizione reticolare

vacanze: posizioni reticolari non occupate da alcun atomo

Difetti puntiformi

I difetti puntiformi possono essere costituiti da:

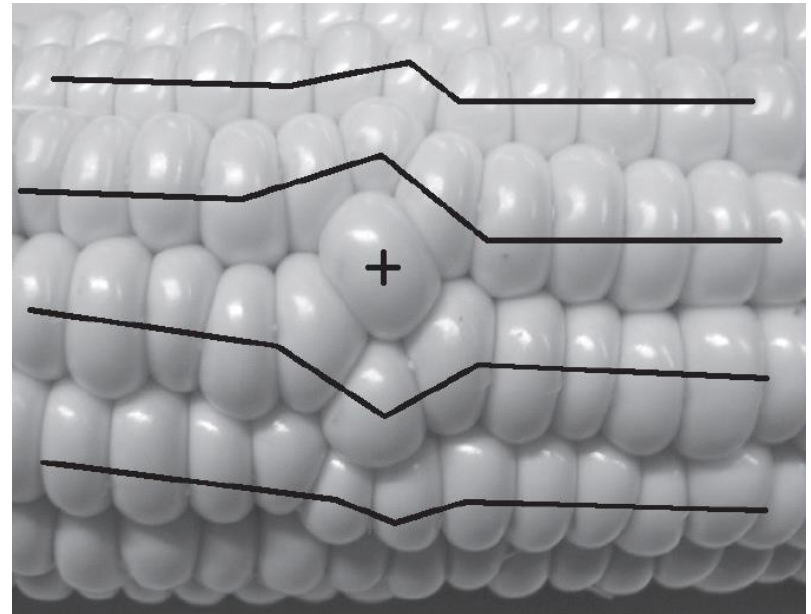
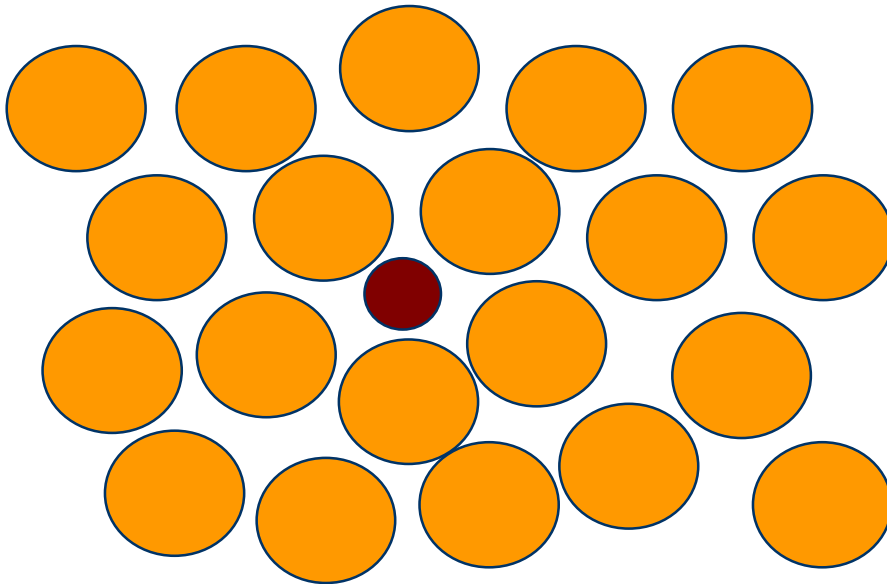
atomi interstiziali: atomi del metallo stesso che non occupano una normale posizione reticolare



Difetti puntiformi

I difetti puntiformi possono essere costituiti da:

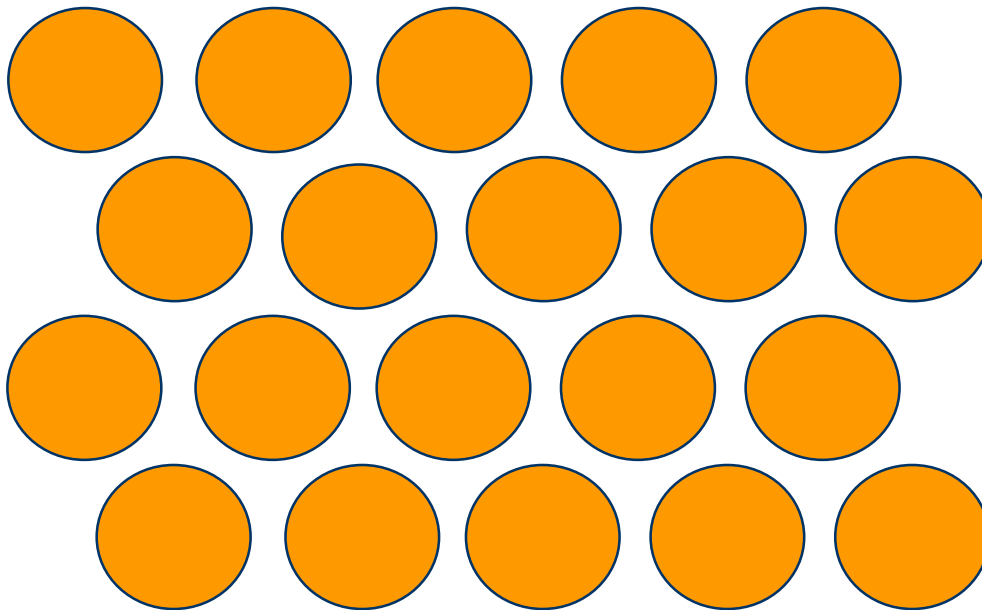
atomi interstiziali: atomi del metallo stesso che non occupano una normale posizione reticolare



Difetti puntiformi

I difetti puntiformi possono essere costituiti da:

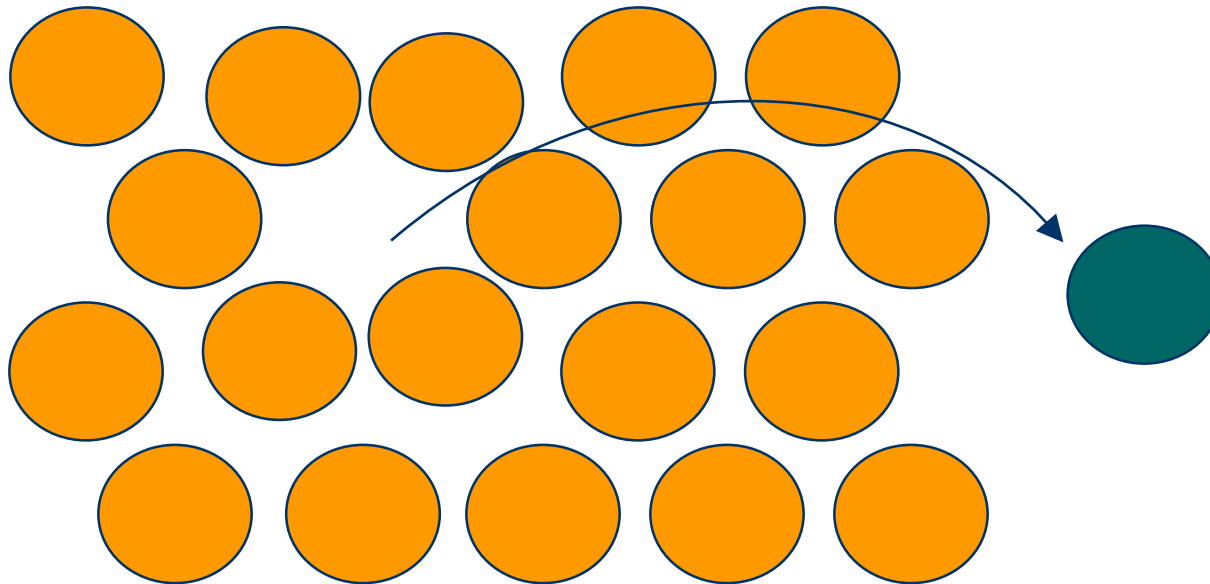
vacanze: posizioni reticolari non occupate da alcun atomo



Difetti puntiformi

I difetti puntiformi possono essere costituiti da:

vacanze: posizioni reticolari non occupate da alcun atomo



Difetti puntiformi

La presenza di vacanze facilita enormemente i processi di diffusione.

Ciò consente la formazione delle leghe metalliche, in cui i vari elementi presenti sono in grado di diffondere omogeneizzando la composizione chimica della lega.

Difetti lineari

Quando una struttura cristallina, come ad esempio un materiale metallico, viene sottoposta a una sollecitazione, essa si deforma.

$\sigma < \text{limite elastico}$

def. elastica

$\sigma > \text{limite elastico}$

def. plastica permanente

Deformazione permanente = scorrimento relativo di atomi del cristallo, o meglio di una parte del cristallo rispetto all'altra

Difetti lineari

Nel caso dei materiali metallici, lo sforzo necessario per ottenere una deformazione plastica è notevolmente inferiore a quello che si può calcolare nell'ipotesi di cristallo ideale grazie alla presenza di difetti lineari: le dislocazioni

Difetti lineari

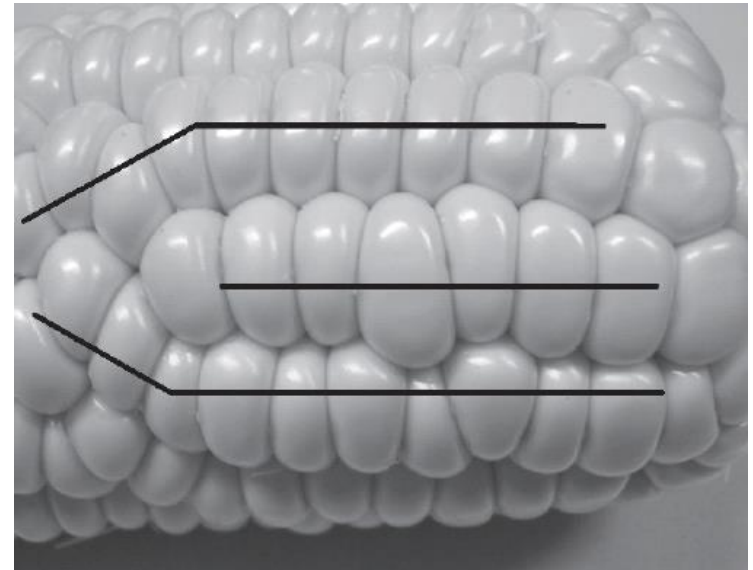
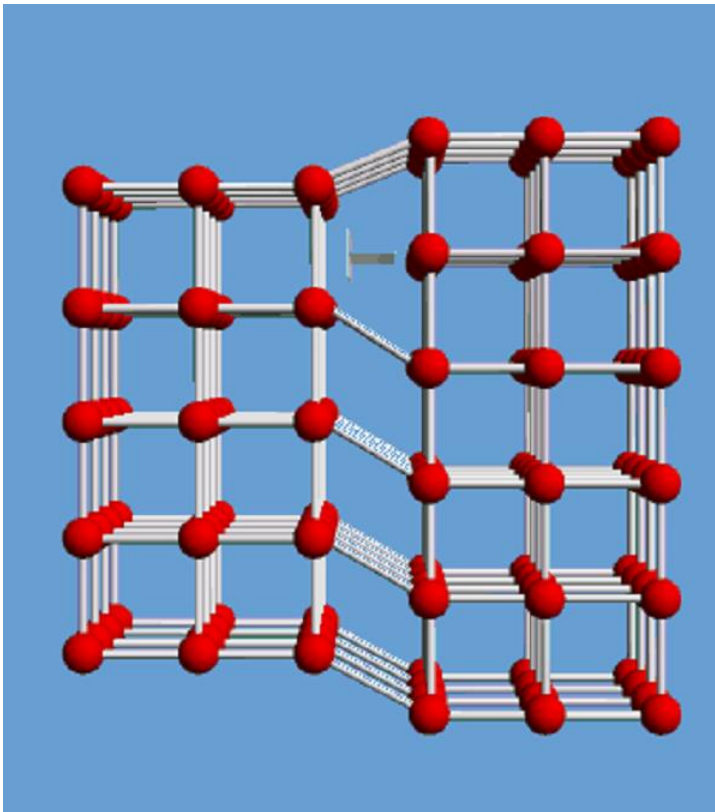
Si definiscono dislocazioni dei difetti presenti nei cristalli, formati da successioni di atomi posizionati in punti non coincidenti con esatte posizioni reticolari.

Dislocazioni a spigolo

Dislocazioni a vite

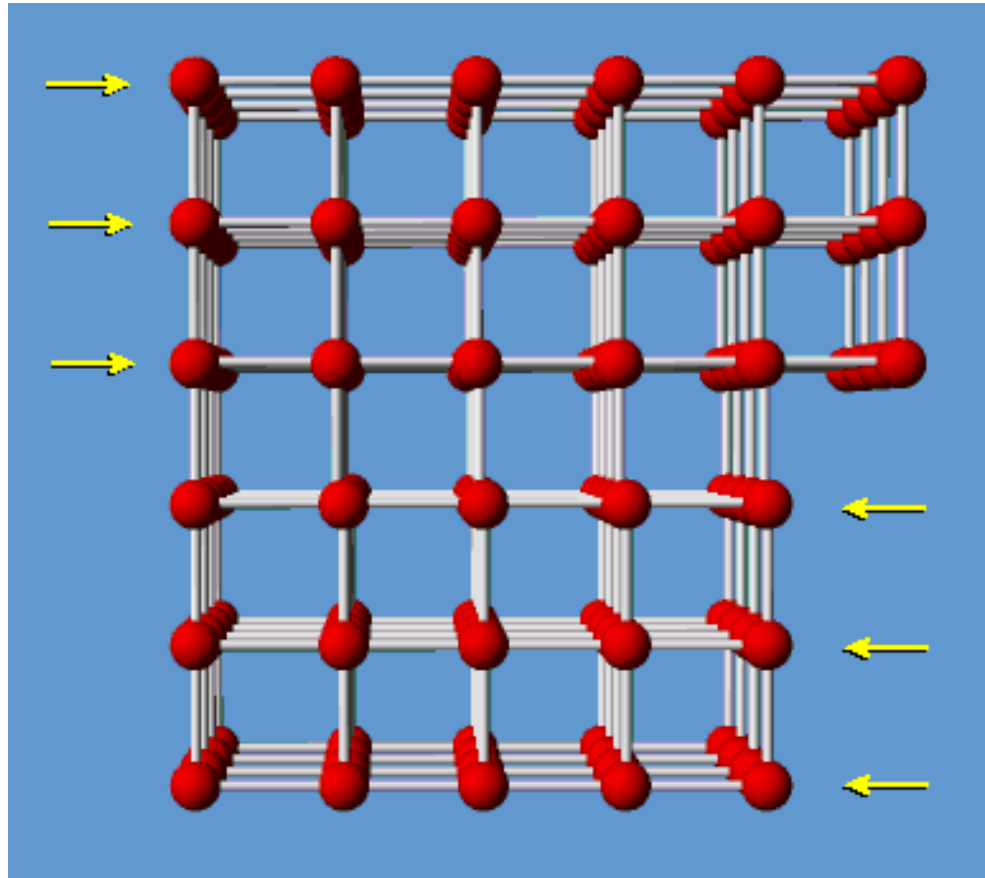
Difetti lineari

Dislocazioni a spigolo



Difetti lineari

Dislocazioni a spigolo



Incrudimento

Applicando una forza sufficientemente elevata è possibile fare scorrere le dislocazioni all'interno del reticolo cristallino in questo modo si determina la deformazione a livello macroscopico.

Per effetto della forza applicata e delle deformazioni che ne conseguono si verifica un aumento del numero delle dislocazioni che durante lo scorrimento possono interagire tra di loro, o con ostacoli interni al materiale

Incrudimento

Aumento del numero delle dislocazioni e loro interazione rendono le dislocazioni stesse meno mobili

Aumento dello sforzo necessario per determinare una nuova deformazione

Aumento delle caratteristiche meccaniche resistenziali del materiale

Questo fenomeno è chiamato incrudimento

Ricristallizzazione

a elevata temperatura si verificano sui materiali metallici dei fenomeni di riarrangiamento della posizione degli atomi nel reticolo cristallino, definiti di ricristallizzazione, che riducono il numero delle dislocazioni presenti

Effetto della temperatura

Bassa temperatura

Incrudimento

Minori variazioni di forma

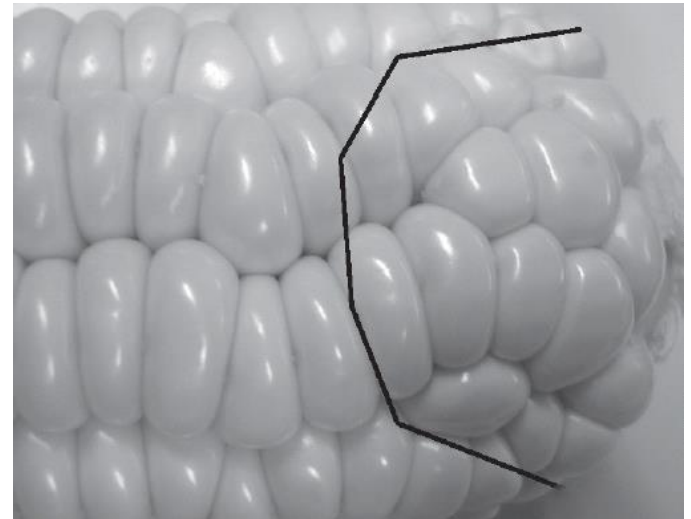
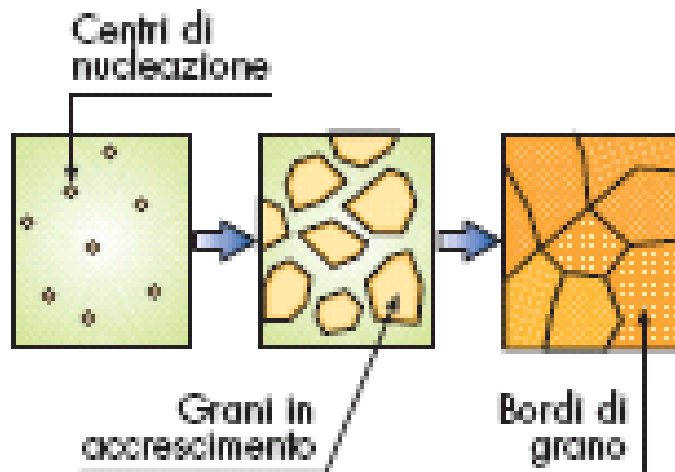
Elevata temperatura

Ricristallizzazione

Maggiori variazioni di forma

Difetti di superficie e bordi di grano

Un materiale metallico commerciale non è mai costituito da un unico cristallo bensì da numerosissimi piccoli cristalli, detti grani cristallini, ognuno dei quali costituito da un reticolo cristallino con orientazione diversa da quello adiacente.

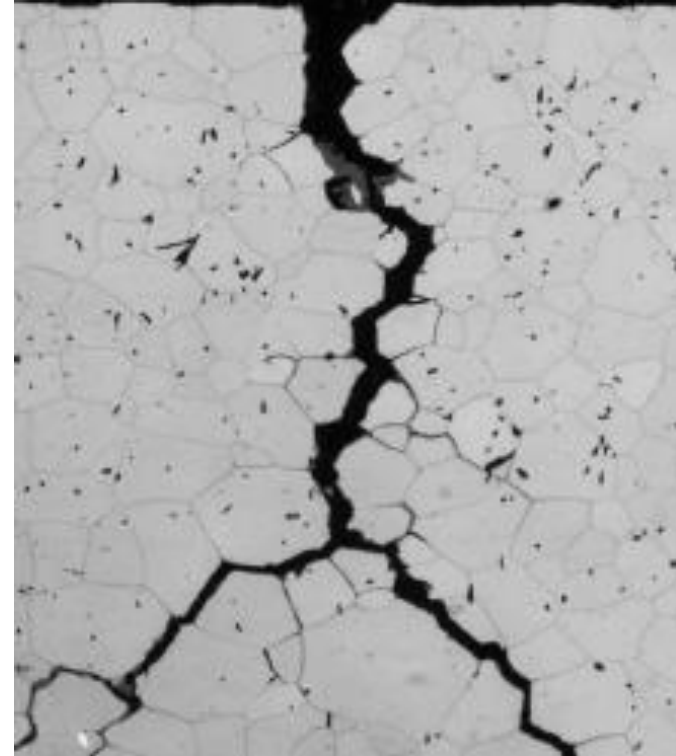
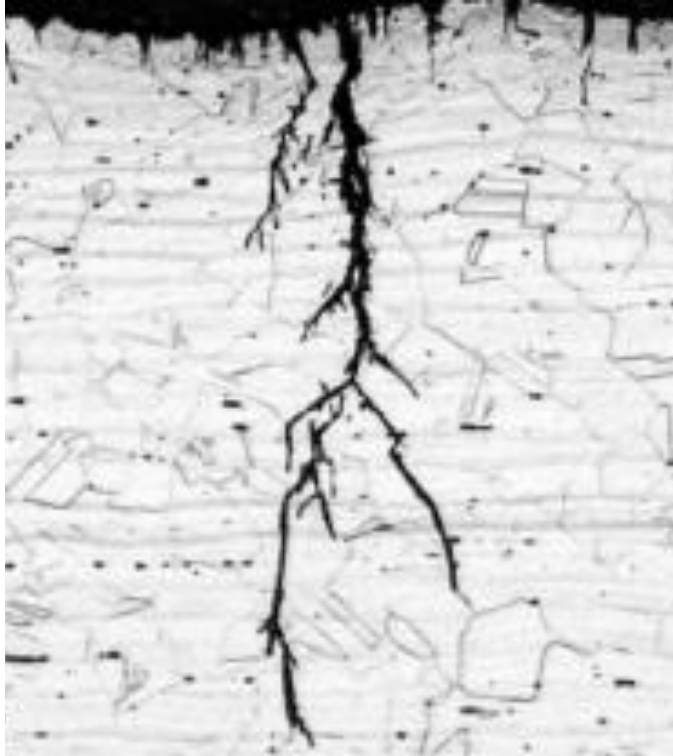


Effetto della def. plast. sui bordi di grano

La deformazione plastica di un materiale metallico determina, oltre che creazione e movimento di dislocazioni, anche rottura dei grani cristallini, e conseguentemente porta a una diminuzione della dimensione dei grani stessi.

Solo una deformazione plastica a freddo consente di ottenere diminuzione della dimensione dei grani, che determina aumento della resistenza meccanica.

Effetto della def plast. sui bordi di grano



Struttura delle leghe metalliche

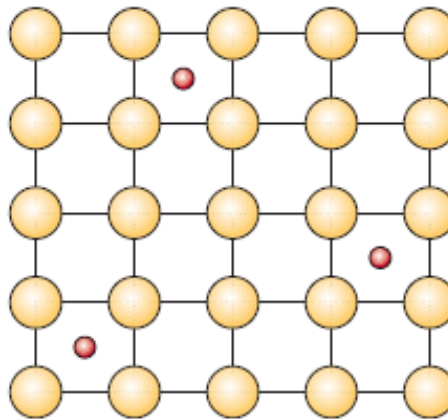
Metalli diversi possono coesistere in un unico reticolo cristallino, oppure formare contemporaneamente due o più reticoli cristallini.

Ciò è possibile grazie alla formazione di:

- **soluzioni solide interstiziali**
- **soluzioni solide sostituzionali**
- **fasi intermedie**

Soluzioni solide interstiziali

Gli atomi del soluto, il metallo presente in minor quantità, sono sufficientemente piccoli da poter occupare i vuoti tra gli atomi del solvente, il metallo presente in maggior quantità, all'interno del reticolo cristallino di questo elementi non metallici di piccole dimensioni come il carbonio, danno luogo a soluzioni solide interstiziali

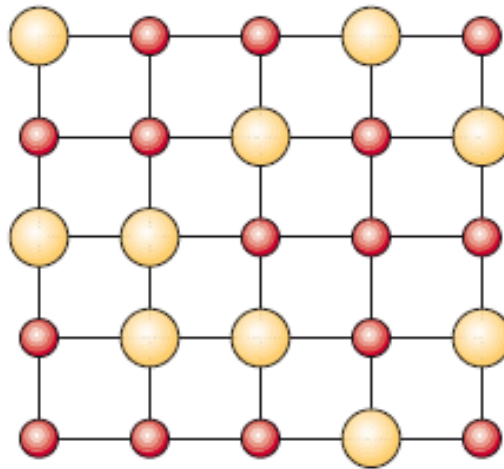


Soluzioni solide sostituzionali

Gli atomi di soluto prendono il posto di atomi del solvente.

Solo poche coppie di metalli fra loro molto simili (Cu/Ni, Au/Ag) sono in grado di dare completa solubilità sostituzionale

Nella maggior parte dei casi la massima solubilità del soluto nel solvente è limitata



Composti intermetallici

Le fasi intermedie, o composti intermetallici, costituite da reticoli cristallini differenti da quelli degli elementi puri che le formano e caratterizzate da particolari rapporti tra gli elementi che le compongono.

Tipico esempio di fase intermedia è il carburo di ferro

Meccanismi di rafforzamento

Le caratteristiche meccaniche di tutti i metalli puri sono piuttosto basse e possono essere aumentate sfruttando vari meccanismi di rafforzamento

Qualsiasi trattamento riesca a creare ostacoli al movimento delle dislocazioni determina un aumento delle caratteristiche meccaniche.

Meccanismi di rafforzamento

- **rafforzamento per alligazione**
- **rafforzamento per incrudimento**
- **rafforzamento per trattamento termico**
- **rafforzamento per precipitazione**

Rafforzamento per alligazione

L'aggiunta di un elemento di lega a un metallo può dar luogo a soluzioni solide

Rame puro commerciale sforzo di rottura di 235 MPa

+ il 10% di stagno si ottiene un bronzo, che ha la stessa struttura cristallina e presenta uno sforzo di rottura di 455 MPa.

Rafforzamento per incrudimento

La deformazione plastica a freddo determina in un materiale metallico la moltiplicazione delle dislocazioni presenti e la loro interazione:

rame puro

σ_r 235 MPa

rame fortemente incrudito

σ_r 400 MPa

acciaio inox austenitico

σ_{sn} 200 MPa

se incrudito

σ_{sn} 1500 MPa

Rafforzamento per trattamento termico

Mediante i TT è possibile ottenere strutture quasi sempre caratterizzate da caratteristiche meccaniche più elevate

Il più tipico di tali trattamenti è quello che viene eseguito su alcuni acciai e che viene indicato con il nome di tempra (cui fa quasi sempre seguito un trattamento detto di rinvenimento).

Rafforzamento per trattamento termico

Tempra

riscaldamento del materiale e in un successivo rapido raffreddamento (eseguito ad esempio mediante immersione in acqua o olio).

Se il raffreddamento è molto rapido si forma una fase non stabile, martensite

Rafforzamento per trattamento termico

La martensite è una struttura fortemente distorta, che rende l'acciaio molto duro e resistente, ma anche troppo fragile

è necessario un ulteriore riscaldamento, rinvenimento, perché si abbia il miglior compromesso tra resistenza meccanica e tenacità

con sforzo di rottura di circa 800 MPa, circa doppio rispetto a quello della struttura del materiale senza trattamento termico e circa quadruplo rispetto al ferro puro.

Rafforzamento per precipitazione

L'aggiunta a un materiale metallico di piccole quantità di altri elementi

La formazione di piccoli precipitati all'interno del reticolo cristallino del solvente che ostacola la deformazione del materiale rafforzandolo.

Rafforzamento per precipitazione

Lega alluminio-rame, duralluminio (Al 96% Cu 4%)

**La sola aggiunta del rame determina rafforzamento per soluzione solida,
con aumento dello σ_R da 75 a 185 MPa**

**L'esecuzione di un trattamento di tempra di soluzione e invecchiamento,
che determina la precipitazione di fini precipitati coerenti, fa aumentare lo
sforzo di rottura anche fino a 485 MPa.**

Proprietà dei materiali metallici

- **Classe di materiali con le densità più elevate**
- **Caratteristiche meccaniche mediamente elevate e diverse a seconda del metallo**
- **Leghe metalliche sono meccanicamente più resistenti rispetto ai rispettivi metalli puri**
- **Rigidità elevata e diversa tra i vari metalli**
- **Tutti i metalli conducono l'elettricità e il calore**
- **Sono opachi e lucenti**
- **Il principale tipo di degrado: corrosione**



Proprietà dei materiali metallici

	Ferro	Rame	Alluminio	Titanio	Magnesio	Zinco
Simbolo chimico	Fe	Cu	Al	Ti	Mg	Zn
Struttura reticolare a T ambiente	c.c.c.	c.f.c.	c.f.c.	e.c.	e.c.	e.c.
Densità (g/cm ³)	7,9	8,9	2,7	4,5	1,7	7,1
Temperatura di fusione (°C)	1536	1083	660	1668	650	420
Resistività a 20 °C (μΩ·cm)	10,1	1,7	2,7	54	160	6,60
Conducibilità termica (W/mK)	78,2	397	238	21,6	7,8	–
Coefficiente espansione _{20-100 °C} (10 ⁻⁶ /K)	12,1	17,0	23,5	8,9	23	31
Caratteristiche meccaniche indicative (metallo commercialmente puro o lega commerciale)						
Modulo di elasticità E (GPa)	200	125	74	105	45	–
Sforzo di rottura σ_R (MPa)	400	235	260	275	152	160
Limite elastico (MPa)	200	100	150	205	110	50
σ_R (MPa) massimo delle leghe	1800	550	550	1500	379	330

Leghe di ferro

Leghe metalliche costituite da ferro e carbonio

Densità 7,87 g/cm³

Strutture cristalline differenti a

- T_{ambiente} a 911°C ccc
- 911-1392 °C cfc
- 1392-1532 °C ccc

Leghe di ferro

	Ferro	Rame	Alluminio	Titanio	Magnesio	Zinco
Simbolo chimico	Fe	Cu	Al	Ti	Mg	Zn
Struttura reticolare a T ambiente	c.c.c.	c.f.c.	c.f.c.	e.c.	e.c.	e.c.
Densità (g/cm ³)	7,9	8,9	2,7	4,5	1,7	7,1
Temperatura di fusione (°C)	1536	1083	660	1668	650	420
Resistività a 20 °C (μΩ·cm)	10,1	1,7	2,7	54	160	6,60
Conducibilità termica (W/mK)	78,2	397	238	21,6	7,8	–
Coefficiente espansione _{20-100°C} (10 ⁻⁶ /K)	12,1	17,0	23,5	8,9	23	31
Caratteristiche meccaniche indicative (metallo commercialmente puro o lega commerciale)						
Modulo di elasticità E (GPa)	200	125	74	105	45	–
Sforzo di rottura σ_R (MPa)	400	235	260	275	152	160
Limite elastico (MPa)	200	100	150	205	110	50
σ_R (MPa) massimo delle leghe	1800	550	550	1500	379	330

Leghe di ferro

Ferro mai utilizzato come metallo puro, sempre in lega con carbonio e altri elementi

In funzione del tenore di carbonio (minore o maggiore di 2,06%) le leghe di ferro sono:

acciai (minore di 2,06%)

ghise (maggiore di 2,06%)

Le temperature di fusione e quelle allotropiche variano, in genere diminuendo all'aumentare del contenuto di carbonio.

Leghe di ferro

Un acciaio è definito come una lega ferro-carbonio con tenore di carbonio inferiore al 2,06%.

In un acciaio sono sempre anche presenti altri elementi di lega in tenori non trascurabili

Il tenore di carbonio non supera quasi mai l'1,2%

Nella stragrande maggioranza dei casi 0,06 e 0,4%

Acciai da costruzione

Gli acciai da costruzione di uso generale possono essere suddivisi in:

- acciai di base
- acciai di qualità



Acciai di base

Gli acciai prodotti con cicli tecnologici di tipo semplice, senza aggiunta di microleganti posti in opera allo stato grezzo di deformazione a caldo

Sono designati in base alle caratteristiche meccaniche o in base all'impiego.

Acciai di base

A seconda della specifica applicazione, gli acciai sono ottimizzati in modo da migliorare la proprietà alla quale sono destinati (costruzioni meccaniche, tondino per cemento armato, lamiere per imbutitura e stampaggio).

Limite elastico 300 MPa

Acciai di qualità

Si ottiene un netto miglioramento di caratteristiche:

- **sforzo di rottura e limite elastico**
- **saldabilità**
- **tenacità**
- **stampabilità**

l'aggiunta di microleganti (alluminio, niobio, azoto, vanadio, titanio), in tenori spesso inferiori allo 0,01%

l'introduzione di innovazioni nel ciclo produttivo (laminazione controllata, tempra in linea)

Acciai di qualità

Fra le varie classi di acciai di qualità:

acciai a elevata resistenza e tenacità

acciai per tondino da cemento armato temprati superficialmente

acciai per laminati piani da profondo stampaggio

acciai Cor-Ten resistenti alla corrosione atmosferica

limite elastico 450 MPa

Acciai di qualità

acciai Cor-Ten resistenti alla corrosione atmosferica



Acciai di qualità

Acciai al solo carbonio oppure debolmente legati

Destinati a essere posti in opera dopo trattamento termico di tempra seguito da opportuno rinvenimento che fa loro acquisire il miglior compromesso delle proprietà di resistenza e tenacità

Acciai inossidabili

il 2% della produzione di acciaio

leghe ferro-carbonio-cromo (spesso anche nichel)

ottima resistenza alla corrosione

Acciai inossidabili

Applicazioni

campo dell'industria chimica

alimentare, farmaceutica

arredamento e casalinghi



in generale in tutti i casi in cui è richiesta una elevata resistenza alla corrosione o particolari qualità estetiche.

Acciai inossidabili

Resistenza alla corrosione

Un tenore di cromo minimo del 12% che conferisce al materiale un'ottima passività, ciò vuol dire che sulla superficie del metallo si forma un film di ossido che protegge il materiale dalla corrosione

Alla lega base possono essere aggiunti altri elementi (Ni, Mo, Ti, Nb, Ta) per migliorare alcune specifiche caratteristiche

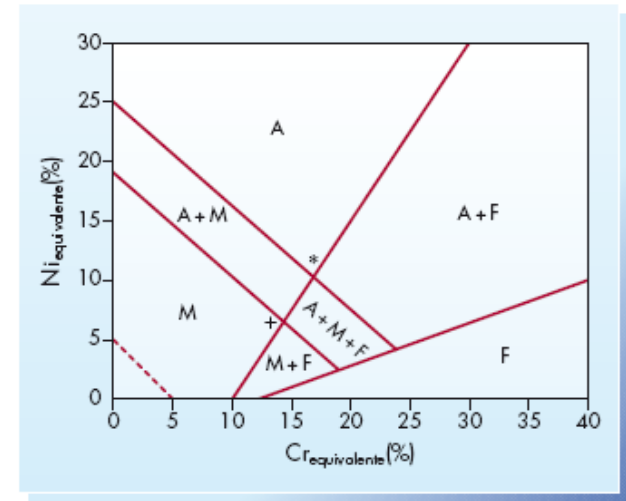
Acciai inossidabili

diagramma di Schaeffler

A struttura austenitica (c.f.c., Fe- γ)

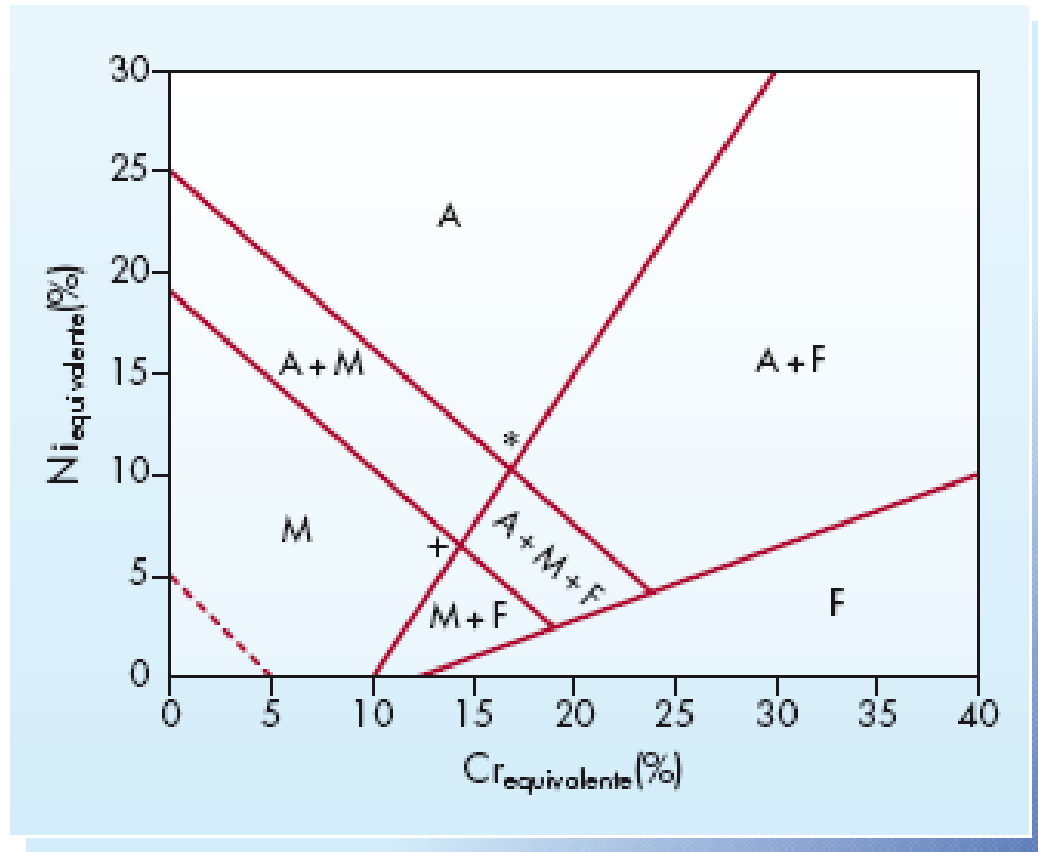
F struttura ferritica (c.c.c., Fe- α)

M struttura martensitica



Forti variazioni di fase a seconda della composizione chimica

Acciai inossidabili



Acciai inossidabili

L'unificazione maggiormente usata per designare gli acciai inossidabili è quella americana AISI, designa gli acciai inossidabili con numeri di tre cifre:

gli austenitici sono designati da numeri delle serie 200 e 300 (2xx e 3xx).

i ferritici e i martensitici da numeri della serie 400 (4xx)

Acciai inossidabili

gli acciai austenitici sono in genere quelli che presentano miglior resistenza alla corrosione, seguiti dai ferritici e dai martensitici

Resistenza a corrosione

A > F > M

Acciai inossidabili

gli acciai martensitici sono invece quelli che hanno migliori caratteristiche meccaniche, seguiti dai ferritici e dagli austenitici, questi ultimi tuttavia, essendo più deformabili possono essere notevolmente **incruditi**

Resistenza Meccanica

$M > F > A$

Acciai inossidabili

Il maggior tenore di elementi di lega, e in particolare di nichel, fa sì che gli acciai austenitici siano i più costosi, seguiti dai martensitici per i quali, pur essendo meno legati dei ferritici, è necessario tener conto dei costi di trattamento termico e della più difficile lavorabilità

Costo

A > M > F

Acciai inossidabili austenitici

più del 60% della produzione di acciai inossidabili.

migliori caratteristiche di resistenza alla corrosione

AISI 304 (0,06C-18Cr-8/10Ni), e noto più semplicemente anche come 18/8
o 18/10,

più di 1/3 della produzione di acciaio inossidabile



Acciai inossidabili austenitici

Principali modificazioni:

l'aggiunta di molibdeno in tenori del 2-3% per migliorare la resistenza alla corrosione localizzata per vaiolatura (pitting corrosion) o in fessura (crevice corrosion): **AISI 316**

la diminuzione del carbonio (<0,03%) per ridurre la possibilità di insorgenza di corrosione intergranulare rendendo così non a rischio la realizzazione di saldature degli acciai inossidabili: **AISI 304L o AISI 316L.**

Acciai inossidabili austenitici

Gli acciai a struttura austenitica non sono soggetti a trasformazioni di fase e non possono essere effettuati trattamenti termici di tempra per aumentare le caratteristiche meccaniche.

Le caratteristiche meccaniche (limite elastico pari a circa 200 MPa), possono essere aumentate solo mediante incrudimento

In questo modo è possibile raggiungere caratteristiche meccaniche molto più elevate, fino a 800-1000 MPa in caso di barre e lamiere di normali dimensioni, e fino a valori anche molto superiori per lamierini e fili sottili.

Acciai inossidabili ferritici

Il tipo più utilizzato è l'acciaio AISI 430 (0,12C-17Cr), con limite elastico 300 MPa

Rispetto agli acciai austenitici

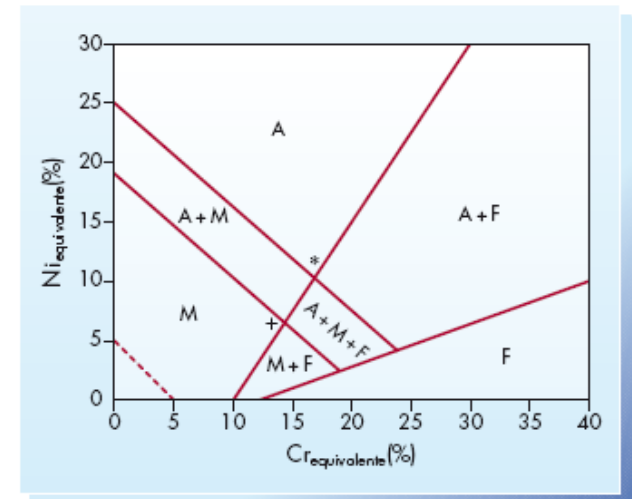
- **resistono meno alla corrosione**
- **vantaggio di non contenere nichel, elemento costoso**
- **meno soggetti alla corrosione sotto sforzo**

Acciai inossidabili martensitici

Gli acciai inossidabili martensitici hanno un tenore di cromo variante tra l'11,5 e il 13%,

il limite inferiore legato alla corrosione

Il limite superiore alla struttura martensitica



Acciai inossidabili martensitici

Sono utilizzati nei casi in cui si richiedono:

elevate caratteristiche meccaniche (struttura martensitica)

L'acciaio più utilizzato è l'AISI 410 (0,15C-13Cr), con limite elastico che può raggiungere i 1000 MPa

Acciai inossidabili duplex

Acciai inossidabili con struttura composta per metà da austenite e per metà da ferrite.

Grazie a un opportuno bilanciamento degli elementi di lega (cromo: 22-25%, nichel 4-7%, molibdeno 0-4%, azoto 0,1-0,3%)

Ghise

Le ghise sono leghe ferro-carbonio (in genere anche silicio), con carbonio compreso tra il 2,5 e il 4%

- **fondono con facilità e possono essere colate anche in forme complesse**
- **hanno buona resistenza alla corrosione atmosferica**
- **costano relativamente poco**
- **hanno basse caratteristiche meccaniche e sono fragili**
- **non possono in genere essere lavorate per deformazione plastica né a freddo né a caldo**

Ghise

Tipi di ghise

Forma del carbonio

- cementite (Fe_3C)
- grafite

microstruttura della grafite

- lamelle
- noduli
- sferoidi



Ghise

ghise bianche (cementite)

ghise grigie (laminette di grafite);

ghise conchigliate (grigie all'interno e bianche in superficie)

ghise malleabili (noduli di grafite)

ghise sferoidali (sferoidi regolari di grafite)

ghise legate (con aggiunte di elementi di lega)

Ghise grigie

la tipologia maggiormente utilizzata e diffusa

carbonio si presenta sotto forma di **laminette o noduli ramificati di grafite**

Le ghise caratterizzate da **distribuzioni molto regolari della grafite** sono quelle con le migliori caratteristiche

anche se normalmente le ghise grigie vengono poste in opera dopo semplice raffreddamento spontaneo del getto, **sono possibili praticamente tutti i trattamenti termici eseguibili sugli acciai**

Ghise grigie

Sforzo di rottura delle ghise grigie: 100 - 350 MPa

dipende da:

- **tenore di carbonio e silicio**
- **velocità di raffreddamento**
- **trattamento termico**
- **forma (meglio piccole dimensioni)**
- **distribuzione della grafite (meglio una distribuzione regolare)**

Ghise grigie

i getti in ghisa grigia sono i meno costosi

Dovrebbero essere presi in considerazione per primi quando si deve scegliere un materiale per la realizzazione di pezzi di geometria complessa, ricorrendo ad altri materiali solo quando le proprietà fisiche o meccaniche sono inadeguate.

Rame e leghe di rame

	Ferro	Rame	Alluminio	Titanio	Magnesio	Zinco
Simbolo chimico	Fe	Cu	Al	Ti	Mg	Zn
Struttura reticolare a T ambiente	c.c.c.	c.f.c.	c.f.c.	e.c.	e.c.	e.c.
Densità (g/cm ³)	7,9	8,9	2,7	4,5	1,7	7,1
Temperatura di fusione (°C)	1536	1083	660	1668	650	420
Resistività a 20 °C (μΩ·cm)	10,1	1,7	2,7	54	160	6,60
Conducibilità termica (W/mK)	78,2	397	238	21,6	7,8	–
Coefficiente espansione _{20-100°C} (10 ⁻⁶ /K)	12,1	17,0	23,5	8,9	23	31
Caratteristiche meccaniche indicative (metallo commercialmente puro o lega commerciale)						
Modulo di elasticità E (GPa)	200	125	74	105	45	–
Sforzo di rottura σ_R (MPa)	400	235	260	275	152	160
Limite elastico (MPa)	200	100	150	205	110	50
σ_R (MPa) massimo delle leghe	1800	550	550	1500	379	330

Rame puro

- elevata conducibilità elettrica e termica
- facilità di formatura ed elevata deformabilità
- possibilità di ottenimento di getti
- buone caratteristiche meccaniche
- buona resistenza alla corrosione in molti ambienti
- facilità di elettrodeposizione
- facilità di giunzione per saldatura
- disponibilità alle colorazioni

Rame puro

Le proprietà meccaniche del rame sono relativamente basse

$$\sigma_R = 235 \text{ MPa}, \sigma_{sn} = 76 \text{ MPa}$$

Possono essere aumentate mediante incrudimento

$$\sigma_R = 395 \text{ MPa e } \sigma_{sn} = 365 \text{ MPa}$$





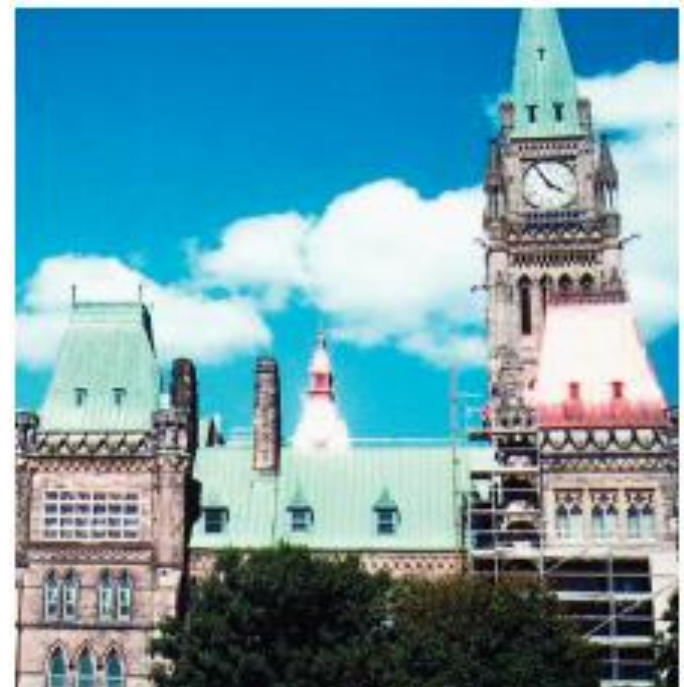
Leghe di rame

migliori caratteristiche meccaniche

miglior colabilità

miglior lavorabilità alle macchine utensili

miglior resistenza alla corrosione



Leghe di rame

Le leghe di rame di maggior interesse possono essere suddivise in:

Ottoni: leghe rame-zinco

Bronzi: leghe rame-stagno

metalli bianchi: leghe rame-nichel-zinco

Cuproallumini: leghe rame-alluminio

Cupronichel: leghe rame-nichel

Ottoni

leghe rame-zinco

ottoni α rossi (5-20% Zn)

ottoni α gialli (30-35% Zn)

ottoni $\alpha+\beta$ (35-40% Zn)



Ottoni

ottoni α rossi (5-20% Zn)

- similori
- miglior lavorabilità alle macchine utensili e resistenza alla corrosione.
- più costosi degli ottoni ad alto zinco



ottoni α gialli (30-35% Zn)

- buona resistenza meccanica
- ottima duttilità

Ottoni



ottoni $\alpha + \beta$ (35-40% Zn)

- **migliori caratteristiche meccaniche**
- **difficilmente lavorabili a freddo**

Bronzi

leghe rame-stagno

in genere fino 12% (25%)



Bronzi

leghe rame-stagno

alta resistenza meccanica

**alta resistenza alla corrosione, in particolare in acqua di mare, e alla
corrosione sotto sforzo**

basso coefficiente d'attrito



Bronzi - applicazioni

lavorabilità a freddo

monete, guarnizioni

durezza e resistenza all'usura

ingranaggi, cuscinetti, raccorderia marina

durezza dopo getto

campane

colabilità

getti resistenti all'usura, statue

Metalli bianchi

leghe ternarie rame-zinco-nichel



Metalli bianchi

L'aggiunta del **nichel** alle leghe rame-zinco (ottoni) :

colorazione bianca (soprattutto le alpacche) a somiglianza dell'argento,
(da cui i nomi nichel silver, Argentane, Christofle, German silver)



Metalli bianchi

L'aggiunta del nichel alle leghe rame-zinco (ottoni) :

**alte proprietà meccaniche, nettamente migliori di quelle degli ottoni
abbinate a ottima deformabilità**

alta resistenza alla corrosione (in ambienti acidi)



Alluminio e leghe di alluminio

	Ferro	Rame	Alluminio	Titanio	Magnesio	Zinco
Simbolo chimico	Fe	Cu	Al	Ti	Mg	Zn
Struttura reticolare a T ambiente	c.c.c.	c.f.c.	c.f.c.	e.c.	e.c.	e.c.
Densità (g/cm ³)	7,9	8,9	2,7	4,5	1,7	7,1
Temperatura di fusione (°C)	1536	1083	660	1668	650	420
Resistività a 20 °C (μΩ·cm)	10,1	1,7	2,7	54	160	6,60
Conducibilità termica (W/mK)	78,2	397	238	21,6	7,8	–
Coefficiente espansione _{20-100°C} (10 ⁻⁶ /K)	12,1	17,0	23,5	8,9	23	31
Caratteristiche meccaniche indicative (metallo commercialmente puro o lega commerciale)						
Modulo di elasticità E (GPa)	200	125	74	105	45	–
Sforzo di rottura σ_R (MPa)	400	235	260	275	152	160
Limite elastico (MPa)	200	100	150	205	110	50
σ_R (MPa) massimo delle leghe	1800	550	550	1500	379	330



Alluminio e leghe di alluminio

Proprietà dell'alluminio puro:

resistenza alla corrosione atmosferica

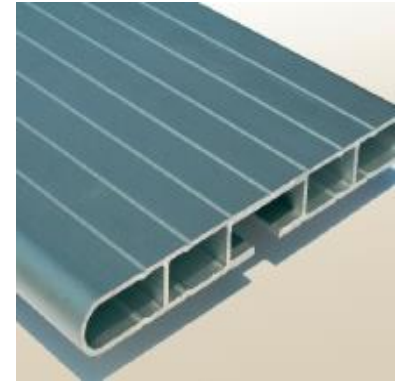
compatibilità con i prodotti alimentari

duttilità, malleabilità, lavorabilità

conducibilità termica ed elettrica

riflettività

proprietà antiscintilla e non magneticità



Alluminio e leghe di alluminio

Classificazione dell'alluminio (Aluminum Association)

1xxx: alluminio puro

2xxx: leghe alluminio-rame (*Avional*)

3xxx: leghe alluminio-manganese

4xxx: leghe alluminio-silicio

5xxx: leghe alluminio-magnesio (*Peraluman*)

6xxx: leghe alluminio-magnesio-silicio (*Anticorodal*)

7xxx: leghe alluminio-zinco (*Ergal*)

8xxx e 9xxx leghe diverse

Alluminio e leghe di alluminio

Proprietà delle leghe di alluminio

L'aggiunta di elementi di lega è in grado di modificare le proprietà dell'alluminio:

- migliorando le caratteristiche meccaniche
- rendendole più facilmente colabili
- più resistenti alla corrosione

La maggior parte delle leghe di alluminio vengono formate per deformazione plastica

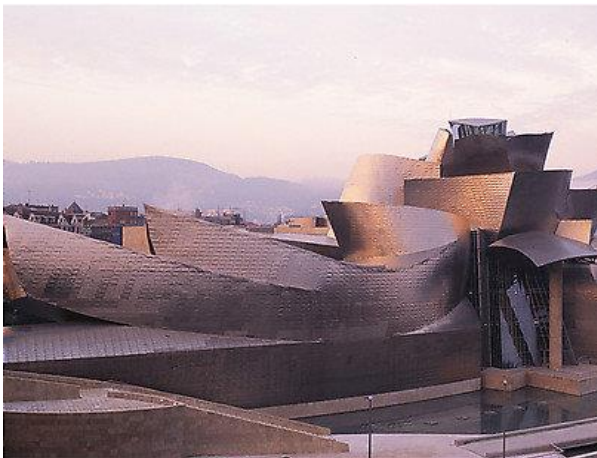
Titanio e leghe di titanio

Proprietà del titanio:

- leggerezza
- resistenza alla corrosione
- modesta espansione termica
- elevate proprietà meccaniche
- amagneticità
- biocompatibilità



Titanio – applicazioni in architettura



F. Marra:

Materiali metallici

Titanio e leghe di titanio

	Ferro	Rame	Alluminio	Titanio	Magnesio	Zinco
Simbolo chimico	Fe	Cu	Al	Ti	Mg	Zn
Struttura reticolare a T ambiente	c.c.c.	c.f.c.	c.f.c.	e.c.	e.c.	e.c.
Densità (g/cm ³)	7,9	8,9	2,7	4,5	1,7	7,1
Temperatura di fusione (°C)	1536	1083	660	1668	650	420
Resistività a 20 °C (μΩ·cm)	10,1	1,7	2,7	54	160	6,60
Conducibilità termica (W/mK)	78,2	397	238	21,6	7,8	–
Coefficiente espansione _{20-100°C} (10 ⁻⁶ /K)	12,1	17,0	23,5	8,9	23	31
Caratteristiche meccaniche indicative (metallo commercialmente puro o lega commerciale)						
Modulo di elasticità E (GPa)	200	125	74	105	45	–
Sforzo di rottura σ_R (MPa)	400	235	260	275	152	160
Limite elastico (MPa)	200	100	150	205	110	50
σ_R (MPa) massimo delle leghe	1800	550	550	1500	379	330

Magnesio

Proprietà del magnesio:

- massima leggerezza tra i metalli
- alto rapporto rigidità/peso e resistenza/peso
- facilità di ottenimento di getti
- capacità di smorzamento delle vibrazioni
- resistenza all'urto e all'ammaccatura
- economicità nella lavorazione all'utensile
- saldabilità



Magnesio

	Ferro	Rame	Alluminio	Titanio	Magnesio	Zinco
Simbolo chimico	Fe	Cu	Al	Ti	Mg	Zn
Struttura reticolare a T ambiente	c.c.c.	c.f.c.	c.f.c.	e.c.	e.c.	e.c.
Densità (g/cm ³)	7,9	8,9	2,7	4,5	1,7	7,1
Temperatura di fusione (°C)	1536	1083	660	1668	650	420
Resistività a 20 °C (μΩ·cm)	10,1	1,7	2,7	54	160	6,60
Conducibilità termica (W/mK)	78,2	397	238	21,6	7,8	–
Coefficiente espansione _{20-100°C} (10 ⁻⁶ /K)	12,1	17,0	23,5	8,9	23	31
Caratteristiche meccaniche indicative (metallo commercialmente puro o lega commerciale)						
Modulo di elasticità E (GPa)	200	125	74	105	45	–
Sforzo di rottura σ_R (MPa)	400	235	260	275	152	160
Limite elastico (MPa)	200	100	150	205	110	50
σ_R (MPa) massimo delle leghe	1800	550	550	1500	379	330

Zinco

	Ferro	Rame	Alluminio	Titanio	Magnesio	Zinco
Simbolo chimico	Fe	Cu	Al	Ti	Mg	Zn
Struttura reticolare a T ambiente	c.c.c.	c.f.c.	c.f.c.	e.c.	e.c.	e.c.
Densità (g/cm ³)	7,9	8,9	2,7	4,5	1,7	7,1
Temperatura di fusione (°C)	1536	1083	660	1668	650	420
Resistività a 20 °C (μΩ·cm)	10,1	1,7	2,7	54	160	6,60
Conducibilità termica (W/mK)	78,2	397	238	21,6	7,8	–
Coefficiente espansione _{20-100°C} (10 ⁻⁶ /K)	12,1	17,0	23,5	8,9	23	31
Caratteristiche meccaniche indicative (metallo commercialmente puro o lega commerciale)						
Modulo di elasticità E (GPa)	200	125	74	105	45	–
Sforzo di rottura σ_R (MPa)	400	235	260	275	152	160
Limite elastico (MPa)	200	100	150	205	110	50
σ_R (MPa) massimo delle leghe	1800	550	550	1500	379	330

Zinco

Proprietà dello zinco:

densità 7,13 g/cm³

punto di fusione 419,5 °C,

Applicazioni

massive

negli ottoni

rivestimento protettivo dell'acciaio



Degrado metalli - Corrosione

Degrado metalli - Corrosione

**Mentre tu leggi
questo cartello nel mondo
si corrodono più di
10.000 kg di ferro**

Cartello esposto in uno stand della NACE-CORROSION 2002

Degrado metalli - Corrosione



Fig. 1.4 - Corrosione generalizzata di lamiere zincate sul tetto di una baita a Nestrelli (Valtellina)



Fig. 1.5 - Corrosione generalizzata di un relitto (Isola di Capo Verde)

Degrado metalli - Corrosione

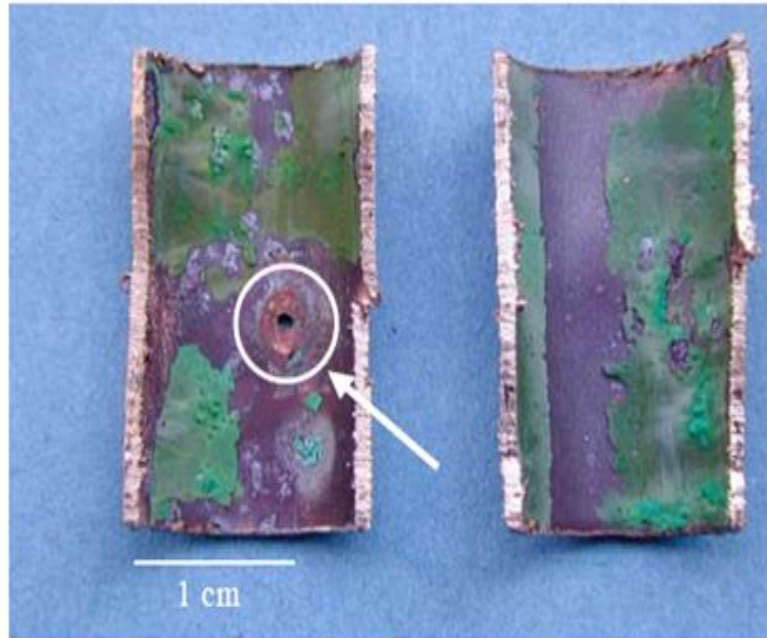


Fig. 1.6 - Foratura (pitting) in un tubo di rame per il trasporto dell'acqua calda

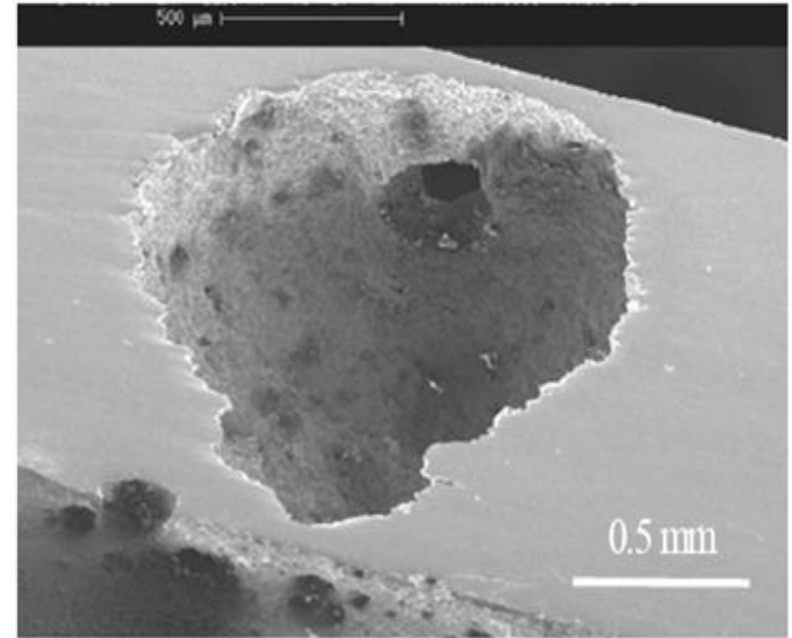


Fig. 1.7 - Pitting in una lamiera in AISI 304 in ambiente contenente cloruri

Degrado metalli - Corrosione



Fig. 1.8 - Corrosione detta “in-out” che parte dall’interno della carrozzeria dell’auto



Fig. 1.9 - Corrosione in fessura di un bullone in acciaio inossidabile (AISI 304)

Degrado metalli - Corrosione



Fig. 1.12 - Attacco selettivo (dezincificazione di un ottone)

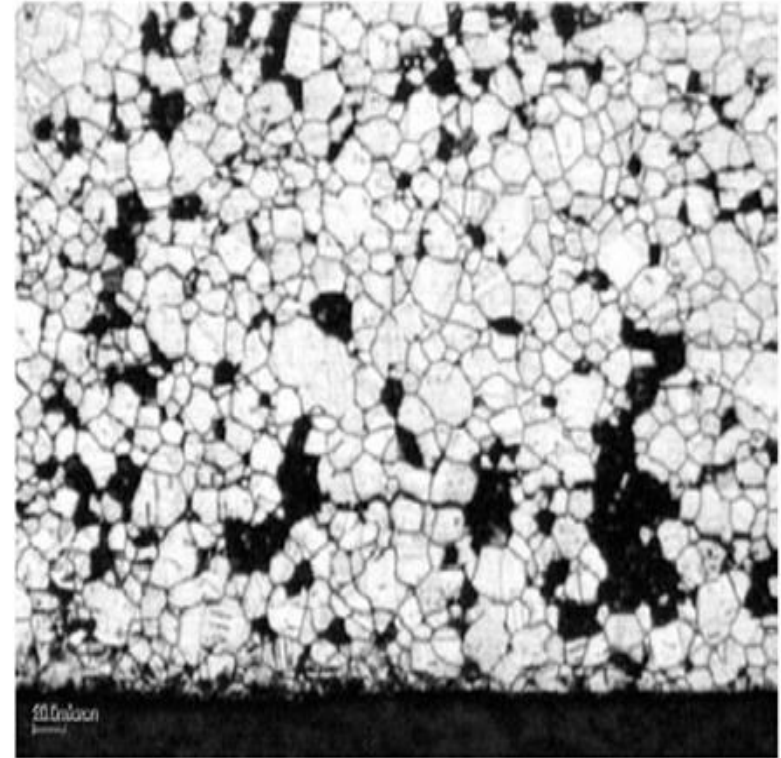


Fig. 1.13 - Corrosione intergranulare di un acciaio inossidabile austenitico AISI 304

Degrado metalli - Corrosione



Fig. 1.19 - Corrosione (a caldo) di una paletta di una turbina gas

Degrado metalli - Corrosione



Fig. 1.20 – Bronzo di Marco Aurelio in Campidoglio (ora l'originale è custodito in museo). I bronzi dorati sono soggetti a corrosione soprattutto in ambiente inquinato da SO_2



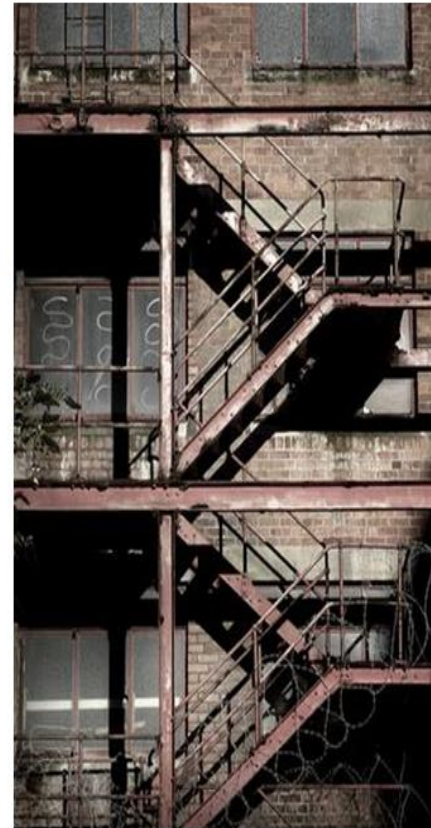
Fig. 1.21 - Statua in bronzo di Napoleone della fine dell'ottocento. Le macchie nere, dovute a prodotti carboniosi, non sono protettive (Milano, 2003)

CORROSIONE:

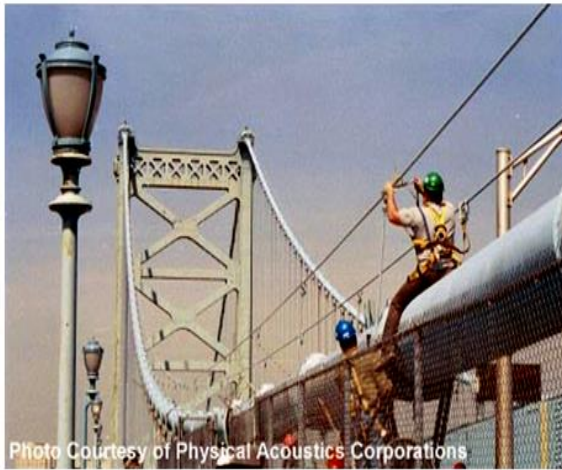
Interazione chimico-fisica (*elettrochimica o chimica*) di un metallo con l'ambiente che lo circonda, con conseguente modificazione delle proprietà del metallo e degrado della funzionalità del metallo, dell'ambiente o del sistema tecnico di cui esso è parte.

EFFETTI NEGATIVI DELLA CORROSIONE

- **Aspetto:** l'aspetto sgradevole del metallo ricoperto di ruggine è spesso motivo sufficiente a ritenerlo inaccettabile (industria automobilistica, architettura).



- **Compromissione dell'affidabilità e operatività** delle strutture, con enormi costi di manutenzione e/o rischi per la sicurezza delle persone.



Ispezione e manutenzione ponti sospesi



Corrosione sotto sforzo di un componente di carrello di atterraggio di aeromobile

- **Danni all'ambiente** possono essere indotti dalla corrosione di recipienti o serbatoi



Rimozione di serbatoi di carburante interrati

- **Contaminazione di prodotto** (industria alimentare, farmaceutica, delle materie plastiche, dei semiconduttori...).

I COSTI TOTALI DELLA CORROSIONE AMMONTANO A DECINE DI MILIARDI DI \$ L'ANNO SOLO NEGLI USA

CORROSIONE: CONCETTI FONDAMENTALI

La forza motrice della corrosione

Durante la produzione di un metallo a partire dai suoi minerali, negli impianti metallurgici o nell'altoforno, esso è trasformato, con un processo che richiede un *dispendio di energia*, da uno stato termodinamicamente **stabile** (minerale: ossido, carbonato, solfuro = forme ossidate) ad uno stato **instabile**.

Nella maggior parte dei casi, quando un metallo è esposto all'atmosfera esso *tende a ritornare allo stato di minerale* (forma ossidata), **liberando energia**.

E' questa la forza motrice della corrosione.

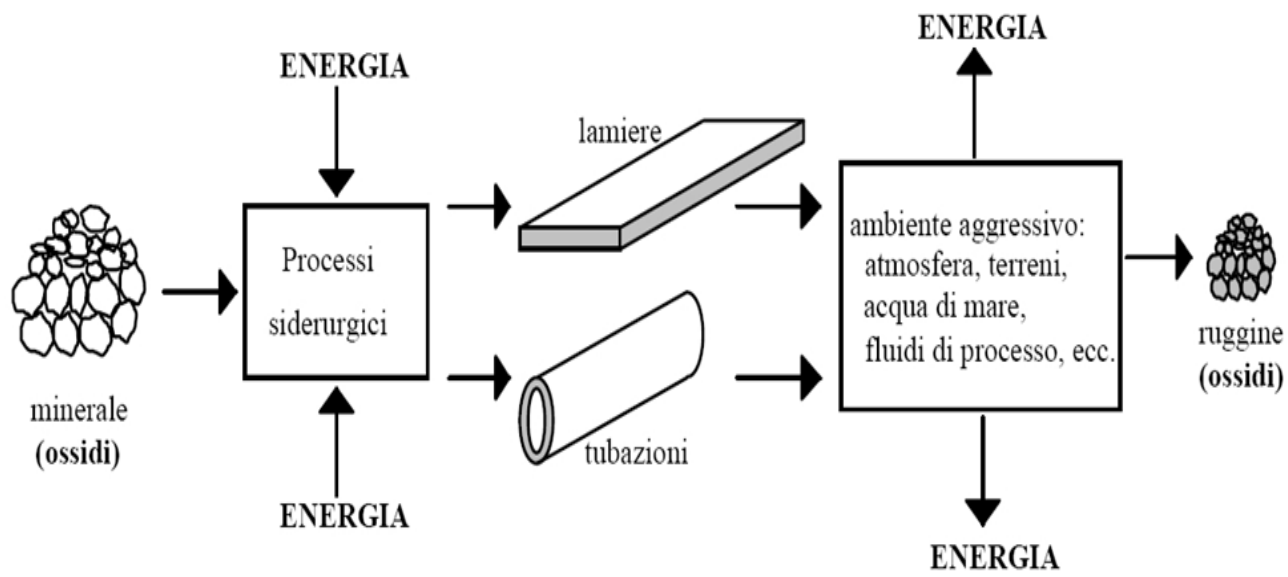


Fig. 1.1 - Il ciclo metallurgia-antimetallurgia per l'acciaio (adattato da M.G. Fontana, N.D. Green, *Corrosion Engineering*, McGraw-Hill, New York, 1967)

CORROSIONE CHIMICA ED ELETTROCHIMICA

Corrosione elettrochimica: procede attraverso reazioni elettrodiche di ossidoriduzione in presenza di acqua (corrosione in soluzioni acquose e corrosione atmosferica, nel terreno o nel calcestruzzo in presenza di film o tracce di umidità):
CORROSIONE AD UMIDO.

Corrosione chimica: procede sotto l'azione di gas secchi o in presenza di liquidi organici privi d'acqua (e.g. corrosione ad alta temperatura): **CORROSIONE A SECCO.**

Ci sono poi ambienti particolari (vd *corrosione in sali o in metalli fusi, soluzioni non acquose...*) in cui i meccanismi non sono rigorosamente né solo di un tipo né solo dell'altro.

Processo di corrosione

metallo + agenti aggressivi → prodotti di corrosione

Agenti aggressivi: ossigeno, acqua, acidi + sali ...

Prodotti di corrosione: ossidi, idrossidi, solfati o altri sali, ioni

Degrado metalli

**La principale causa di degrado dei materiali metallici è la corrosione.
La reazione di corrosione in atmosfera dei metalli può avvenire solo per la contemporanea presenza di:**

- 1. ossigeno (sempre presente nell'aria)**
- 2. acqua**
- 3. materiale metallico**

Degrado metalli

Non tutti i materiali si corrodono in condizioni atmosferiche e quelli che subiscono questo tipo di degrado lo possono fare con velocità diverse

I prodotti di corrosione giocano un ruolo importante sul processo di corrosione e, a seconda delle loro caratteristiche, possono contribuire a rallentare o addirittura a bloccare il degrado del materiale metallico

Degrado metalli

prodotti di corrosione solubili non hanno alcun effetto sulla velocità di corrosione

prodotti di corrosione insolubili ma non protettivi (composti solidi che non schermano efficacemente la superficie metallica, ad esempio ruggine sul ferro) non rallentano il degrado

prodotti di corrosione insolubili che schermano efficacemente la superficie metallica sono protettivi

Forme di corrosione

Il processo di corrosione si può manifestare in modi molti diversi in funzione:

- **del materiale**
- **del tipo di ambiente**
- **della geometria dell'oggetto considerato**

Corrosione dove&come

- **zone attaccate della superficie più o meno estesa e più o meno ricoperte da prodotti di corrosione;**
- **profondità dell'attacco**

Forme di corrosione

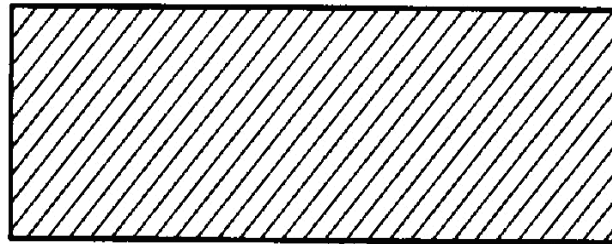
Corrosione generalizzata

uniforme e generalizzato su tutta la superficie

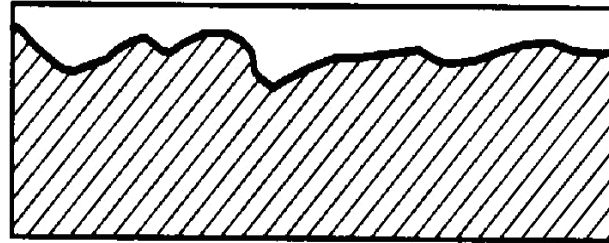
senza formazione di prodotti di corrosione protetti

Corrosione localizzata

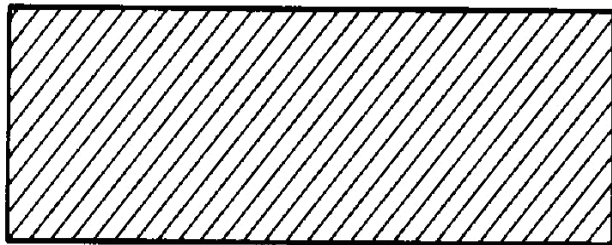
rottura locale del film protettivo



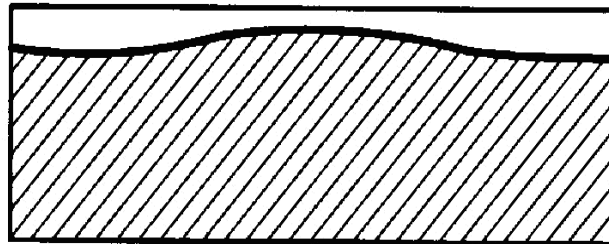
a



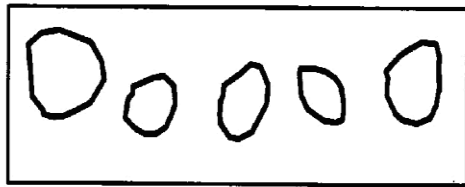
Corrosione diffusa



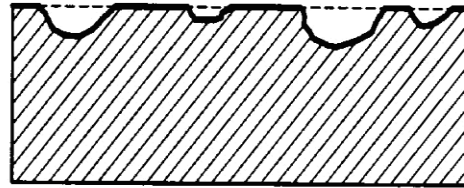
b



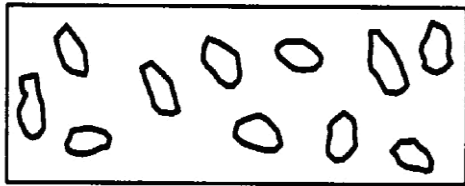
Corrosione uniforme



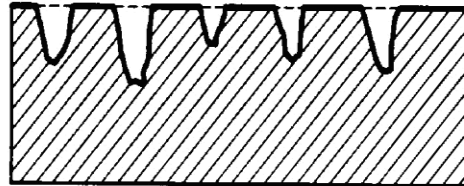
c



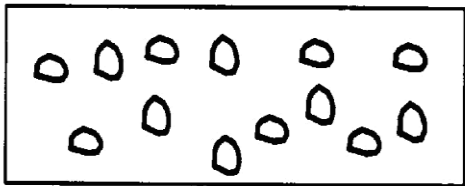
Corrosione per pitting:
ulcere



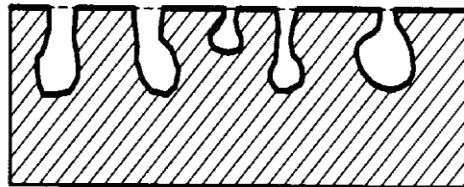
d



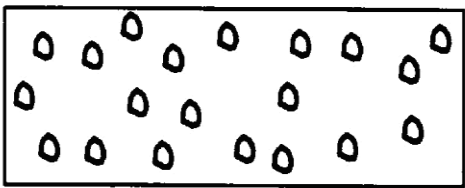
Corrosione per pitting:
crateri



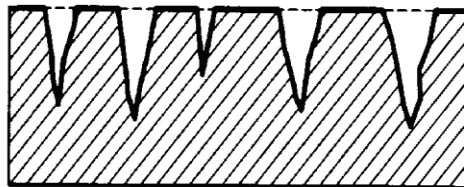
e



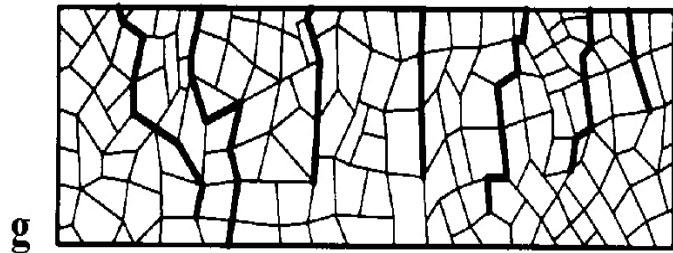
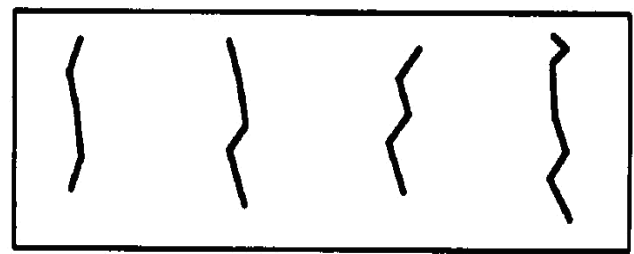
Corrosione per pitting:
caverne



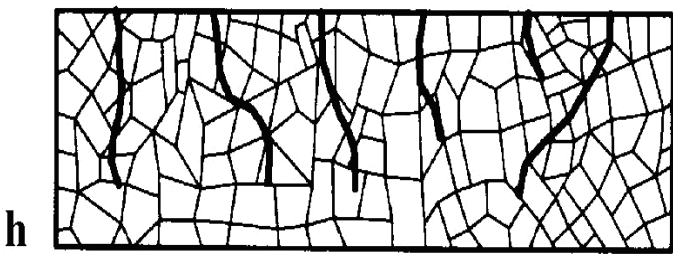
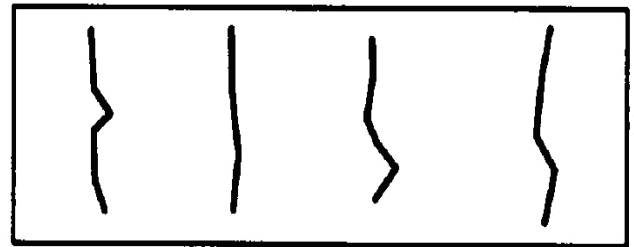
f



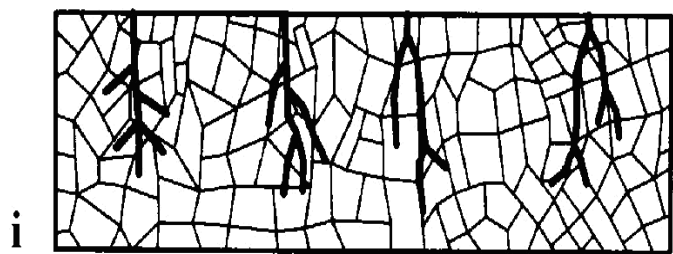
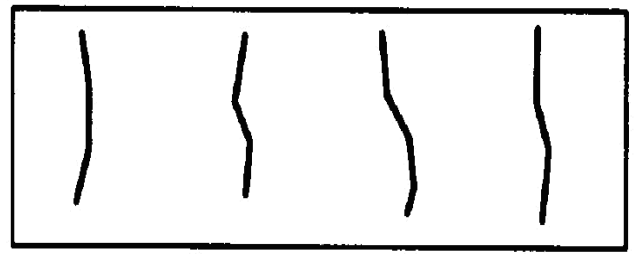
Corrosione per pitting:
punte di spillo



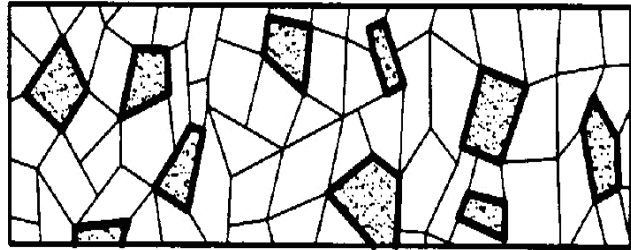
Cricche intercristalline



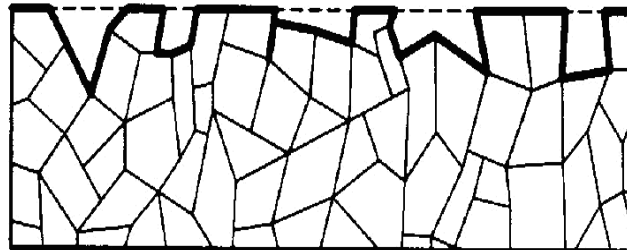
Cricche transcristalline



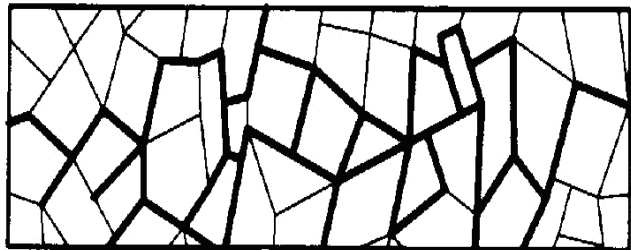
Cricche transcristalline
ramificate



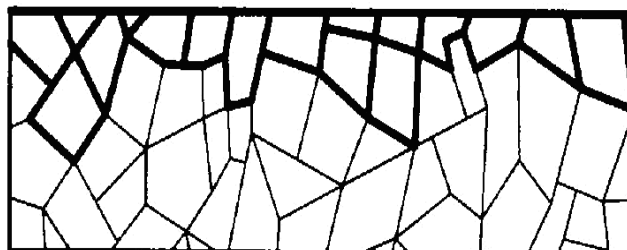
l



Corrosione selettiva
intragranulare



m



Corrosione selettiva
intergranulare

Forme di corrosione

Corrosione generalizzata



Corrosione generalizzata in atmosfera marina su rondella di acciaio zincato dopo 10 anni (in piccolo una rondella nuova).

Forme di corrosione

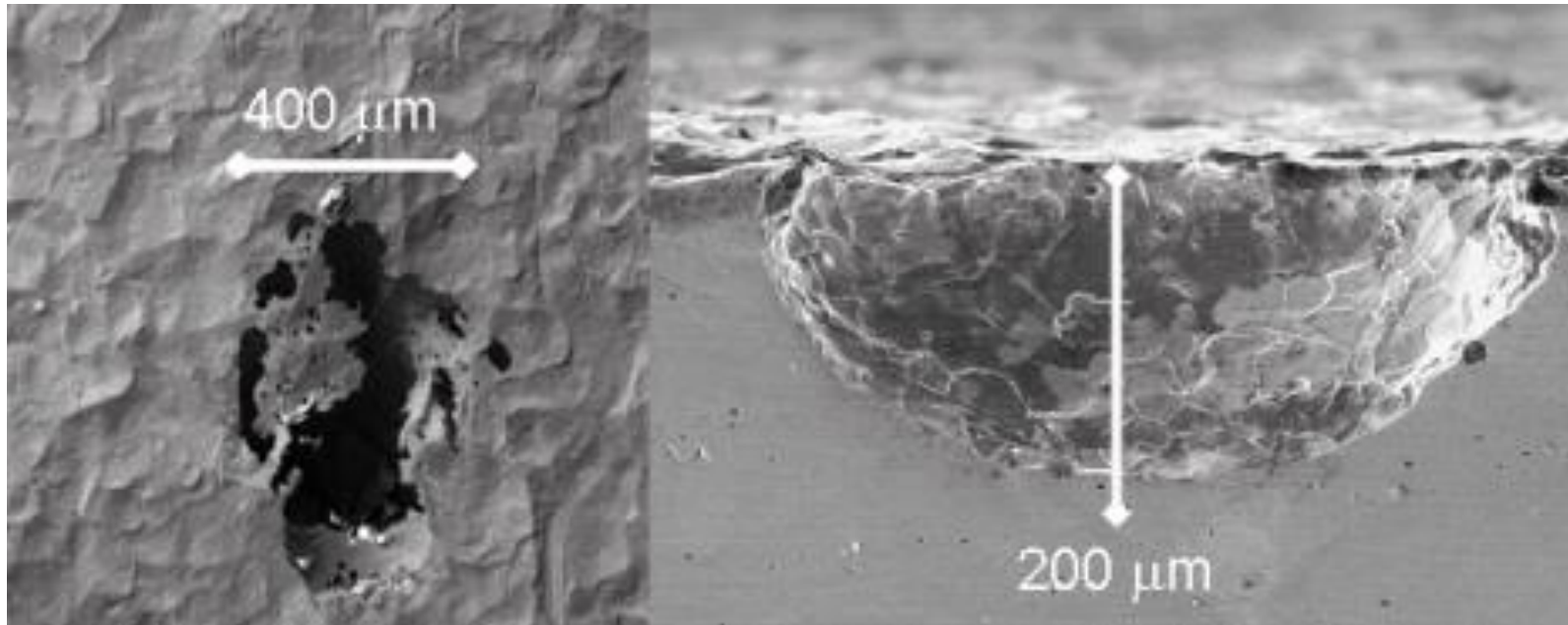
Corrosione localizzata



Danneggiamento per corrosione localizzata della punta di un coltello in acciaio inossidabile tipo AISI 304 deformato plasticamente a freddo dopo numerosi trattamenti di pulizia in lavastoviglie (presenza di NaCl a temperatura relativamente elevata)

Forme di corrosione

Corrosione localizzata



Attacco localizzato su acciaio inossidabile: topologia e sezione al SEM (microscopio a scansione elettronica).

Protezione dalla corrosione

- 1) scegliere **materiali resistenti** alla sollecitazione dell'ambiente specifico
- 2) evitare **geometrie** che consentano il facile accumulo di acqua e “sporco”
- 3) evitare geometrie o materiali che favoriscano la possibilità di avere **accoppiamenti tra metalli diversi**
- 4) ricorrere all'uso di **rivestimenti** scelti valutando la resistenza a corrosione nello specifico ambiente.

Protezione dalla corrosione

1) scegliere **materiali resistenti** alla sollecitazione dell'ambiente specifico

- **oro**
- **rame**
- **titanio**
- **acciai inossidabili austenitici**
- **alluminio**
- **zinco**

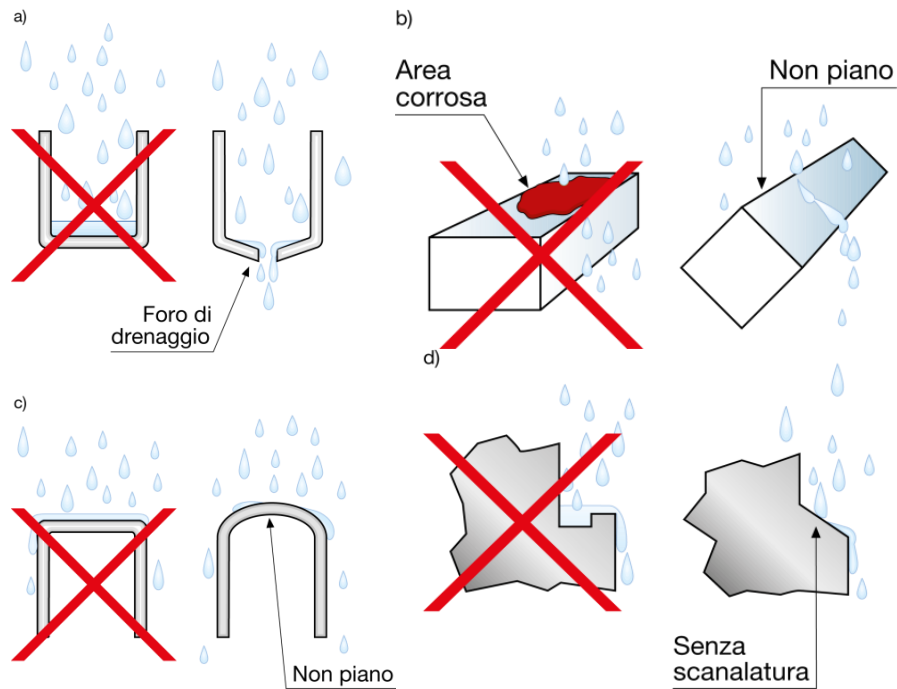
Protezione dalla corrosione

2) evitare **geometrie** che consentano il facile accumulo di acqua e “sporco”

- **fori di drenaggio nelle zone di possibile ristagno**
- **inclinazione della superficie**
- **forme semplici, lisce e senza spigoli vivi**
- **sigillare le fessure impossibili da evitare come nei punti di giunzione fra diversi componenti**
- **evitare accoppiamenti fra metalli diversi**

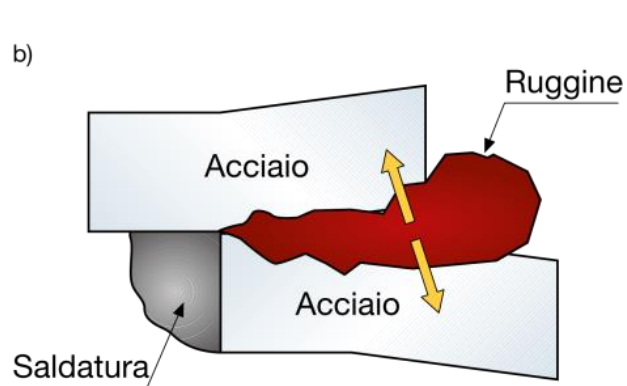
Protezione dalla corrosione

2) evitare geometrie che consentano il facile accumulo di acqua e
“sporco”

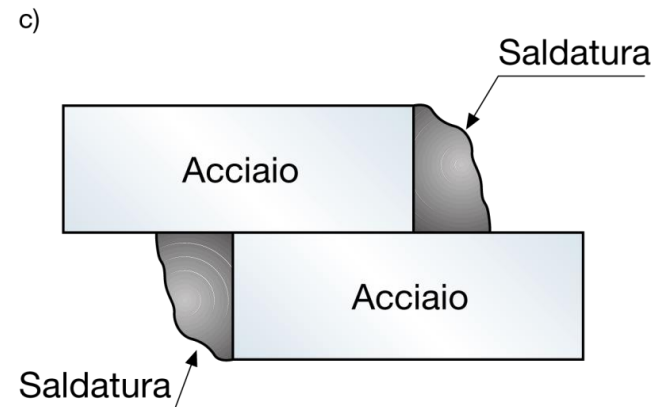


Protezione dalla corrosione

2) evitare geometrie che consentano il facile accumulo di acqua e “sporco”



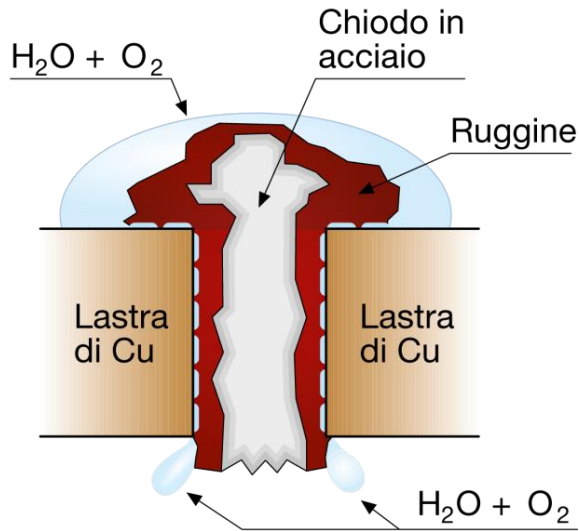
Critico



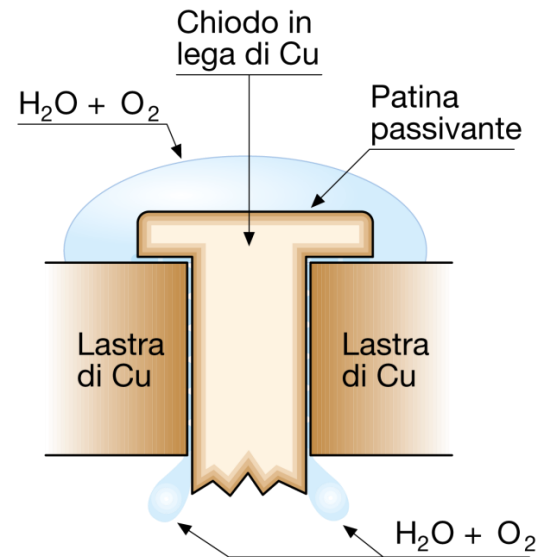
Non critico

Protezione dalla corrosione

3) evitare geometrie o materiali che favoriscano la possibilità di avere accoppiamenti tra metalli diversi



Critico



Non critico

Protezione dalla corrosione

- 4) ricorrere all'uso di **rivestimenti** scelti valutando la resistenza a corrosione nello specifico ambiente.



Parte del motore a vista cromata



Rubinerie rivestite in argento

Protezione dalla corrosione

- 4) ricorrere all'uso di **rivestimenti** scelti valutando la resistenza a corrosione nello specifico ambiente.



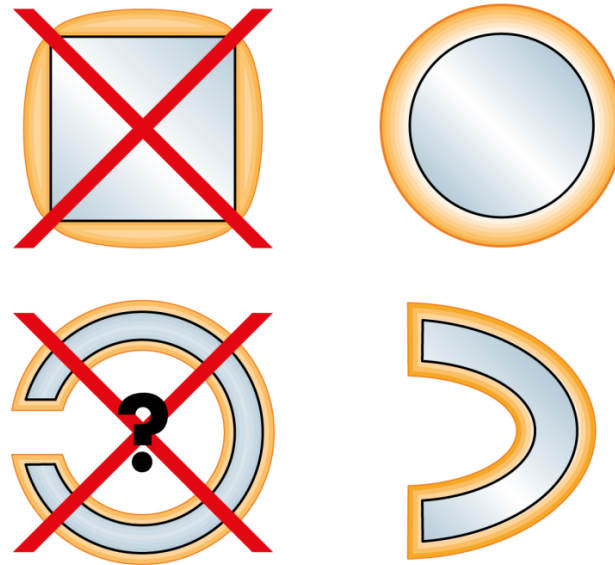
Lamiera zincata



Moschettone in alluminio anodizzato

Protezione dalla corrosione

- 4) ricorrere all'uso di **rivestimenti scelti** valutando la resistenza a corrosione nello specifico ambiente.



Geometrie e forme favorevoli o non favorevoli all'applicazione di rivestimenti

Tecnologie di lavorazione

Tecnologie di lavorazione

I processi di lavorazione dei materiali metallici variano notevolmente da classe a classe anche in funzione dell'oggetto o componente che si vuol ottenere.



Tecnologie di lavorazione

I processi di lavorazione dei materiali metallici variano notevolmente da classe a classe anche in funzione dell'oggetto o componente che si vuol ottenere.



Tecnologie di lavorazione

processi per l'ottenimento di **semilavorati**

lavorazioni alle **macchine utensili**

operazioni di **giunzione** tra pezzi diversi

operazioni di **finitura** superficiale

Tecnologie di lavorazione

Processi per l'ottenimento di semilavorati

- ✓ lavorazioni di fonderia
- ✓ lavorazioni della metallurgia delle polveri
- ✓ deformazione plastica a caldo o a freddo
- ✓ lavorazioni per asportazione di materiale

Lavorazioni di fonderia

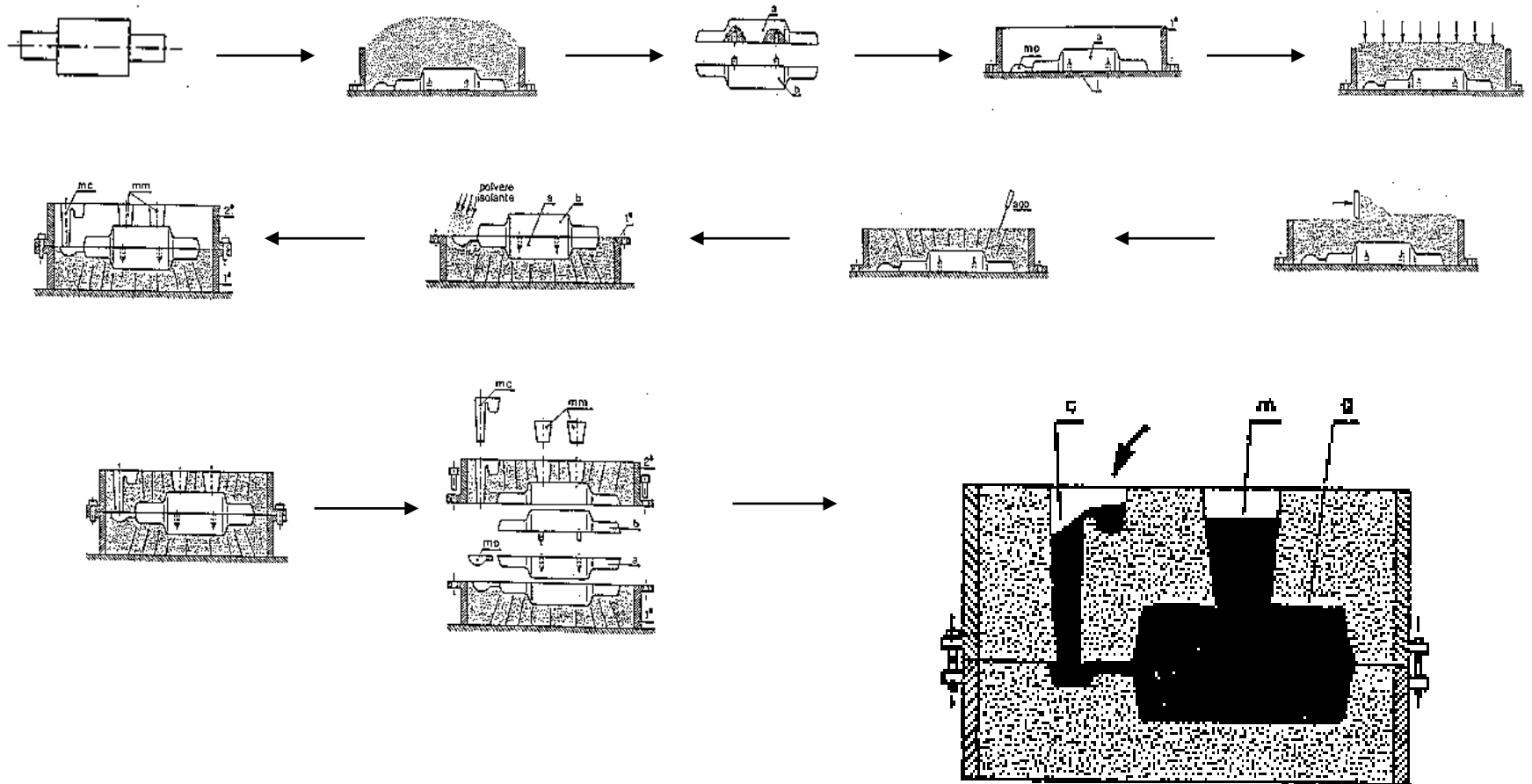
Scopo delle lavorazioni da **fonderia** è quello di ottenere **direttamente** mediante un processo di solidificazione dei **pezzi**

I principali **metodi di colata** sono:

- ✓ **getti in sabbia**
- ✓ **getti pressofusi (alta pressione)**
- ✓ **getti in conchiglia (bassa pressione)**



Lavorazioni di fonderia



Getti in sabbia

Il metallo fuso è colato in stampi di sabbia non recuperabili, che vengono rotti per rimuovere il pezzo solidificato. Conveniente per pezzi unici, utile per la realizzazione di prototipi e per produzioni limitate.

La fusione in terra è un processo manuale idoneo alla formatura di metalli ferrosi e leghe non ferrose. Grazie alla gravità, il materiale è fatto colare nella cavità di stampo, dando origine a pezzi grezzi da finire mediante sabbiatura, lavorazione meccanica o lucidatura.

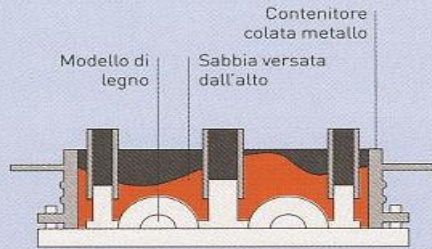
Il processo si avvale di stampi realizzati con normale sabbia, legata con argilla o materiali sintetici.

Gli stampi sintetici sono più rapidi da realizzare e producono finiture superficiali di maggior qualità, sebbene quest'ultima caratteristica dipenda dalla perizia dell'operatore.

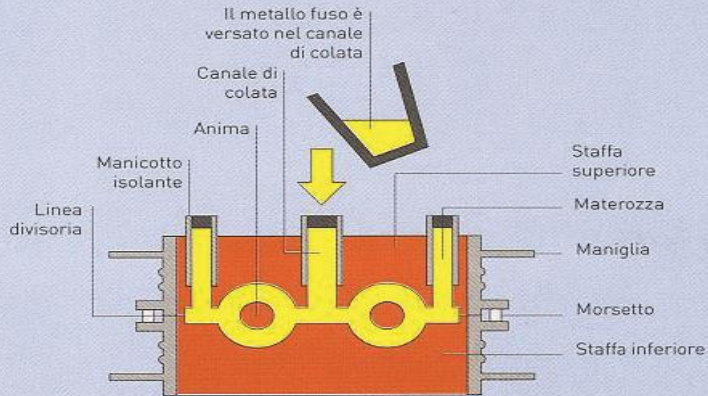
La fusione in terra viene utilizzata prevalentemente nel settore aerospaziale.

Getti in sabbia

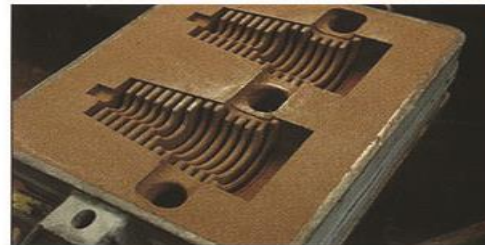
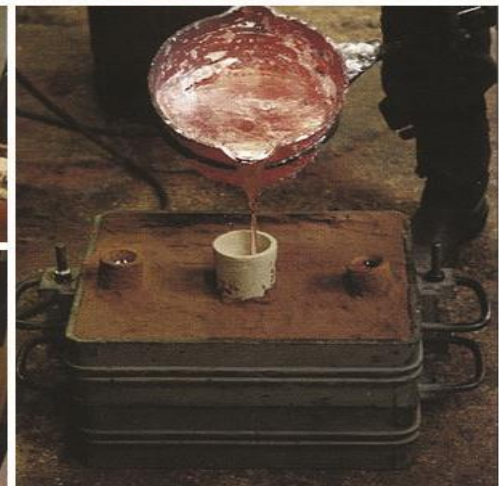
La fusione in terra



Fase 1: preparazione dello stampo



Fase 2: fusione in terra





Pressofusione

La pressofusione è una tecnica precisa di formatura dei metalli, un processo particolarmente rapido che si avvale della **pressione** per spingere il metallo fuso in **stampi di acciaio riutilizzabili**, per creare complesse forme tridimensionali.

La pressofusione è di vari tipi: ad alta pressione, a bassa pressione e per gravità.

La pressofusione ad **alta pressione** è una tecnica versatile, la più rapida per la formatura dei metalli non ferrosi.

Il **metallo fuso** è **spinto dall'alta pressione nella cavità** di stampo, consentendo la realizzazione di pezzi di piccole dimensioni, sezioni a pareti sottili, dettagli complessi e finiture superficiali di buona qualità. Poiché utensili e attrezzature sono molto costosi, il processo è indicato solo per produzioni su larga scala.

Questa tecnologia di formatura viene utilizzata nell'industria automobilistica, elettronica, arredamento, illuminazione, gioielleria e giocattoli.



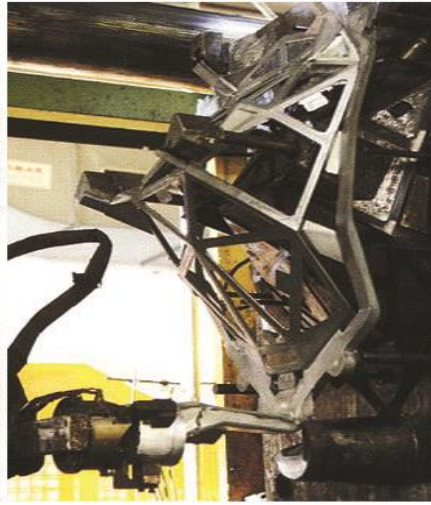
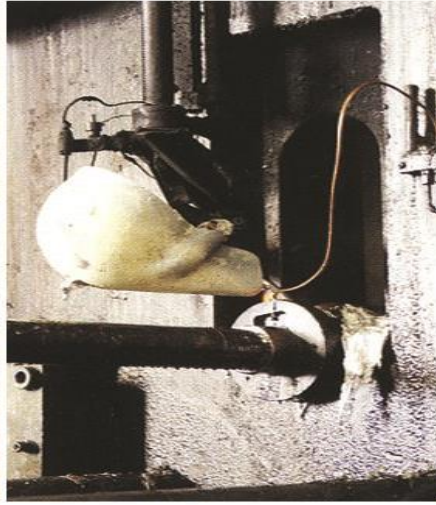
Pressofusione

Nella pressofusione a bassa pressione il materiale fuso è spinto nella cavità di stampo da un gas erogato a bassa pressione. Poiché durante il flusso del materiale la turbolenza è molto contenuta, i pezzi presentano buone proprietà meccaniche. Si tratta di un processo adatto a pezzi rotazionalmente simmetrici in leghe a basso punto di fusione, come per esempio le ruote in lega di alluminio.

Questa tecnologia di formatura viene utilizzata nell'industria automobilistica (ruote e parti di motore) e per la realizzazione di prodotti per la casa (stoviglie e utensili da cucina).

La pressofusione per gravità è detta anche fusione in forma permanente e si differenzia dalla fusione in terra solo per gli stampi di acciaio, che possono essere azionati a mano o automatizzati e sono indicati per volumi produttivi maggiori.

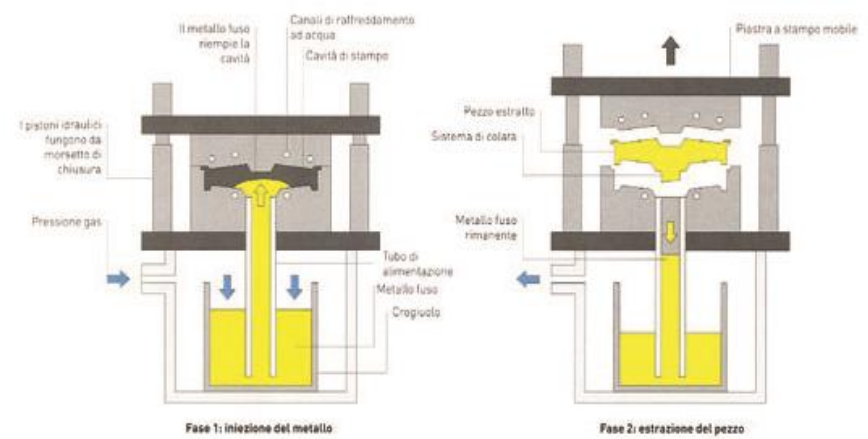
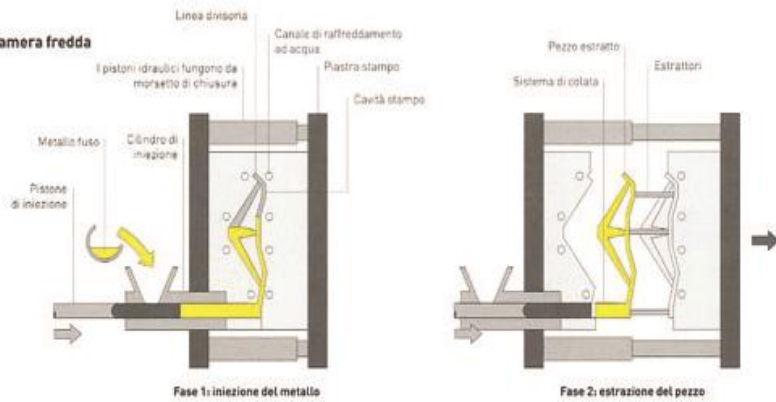
Pressofusione



La pressofusione ad alta pressione

La pressofusione a bassa pressione

Processo a camera fredda





Microfusione

Questo processo, noto anche con il nome di fusione a cera persa, si avvale di stampi di **ceramica non permanenti** ed è in grado di modellare i metalli liquidi in forme complesse e ricche di dettagli.

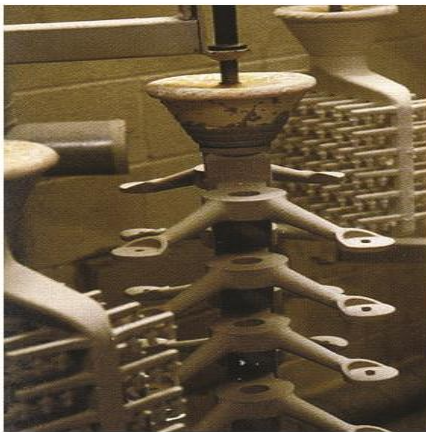
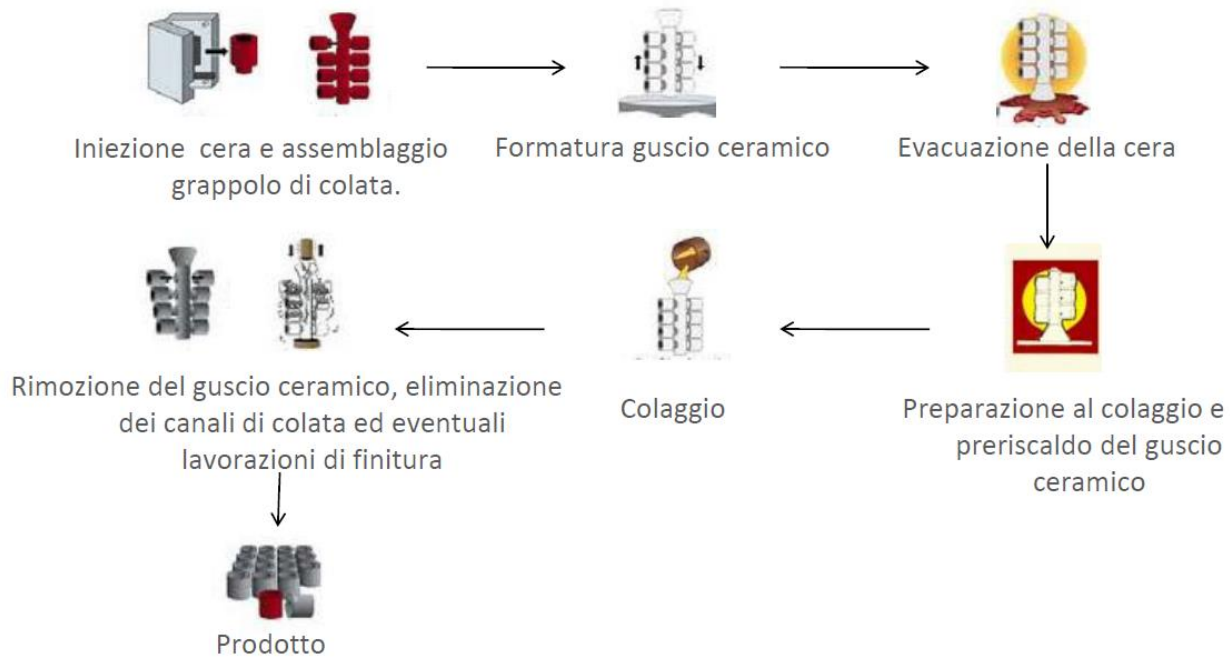
Pur essendo più costoso della pressofusione, questo processo versatile di lavorazione dei metalli offre in molti casi opportunità che compensano la differenza di prezzo. I numerosi vantaggi, infatti, lo rendono adatto a un'ampia gamma di prodotti di minute dimensioni e ridotti pesi.

La microfusione richiede essenzialmente tre elementi: **modelli espandibili, stampi di ceramica non permanenti e getto di metallo**. I modelli sono prevalentemente di cera e stampati per iniezione.

Adatta a qualunque tipo di volume produttivo, dai prototipi alla produzione in serie, consente di realizzare pezzi **estremamente complessi e ricchi di dettagli**, con pareti sia spesse che sottili, che non si potrebbero fondere altrimenti.

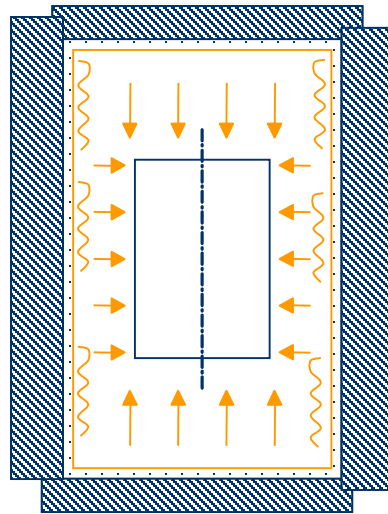
La microfusione viene utilizzata nel settore aerospaziale, automobilistico, edile e dell'arredamento.

Microfusione



Metallurgia delle polveri

Nella metallurgia delle polveri il metallo liquido è dapprima solidificato in particelle di dimensioni controllate che vengono poi compattate nella forma voluta e sottoposte a processo termico di sinterizzazione





Metallurgia delle polveri (MIM)

Questa tecnica, che coniuga la metallurgia delle polveri alla tecnologia dello stampaggio a iniezione, è adatta alla produzione di pezzi di **piccole dimensioni** di acciaio inox, bronzo, leghe magnetiche di nichel e di cobalto.

Lo stampaggio per iniezione del metallo (MIM) è un processo di formatura delle polveri simile allo stampaggio a iniezione di polveri (PIM), utilizzato per i materiali ceramici e i compositi metallici.

Il MIM unisce i vantaggi procedurali dello stampaggio a iniezione alle caratteristiche fisiche dei metalli, rendendo **possibile la produzione di forme complesse, con numerosi dettagli superficiali e dimensioni precise.**

I pezzi che ne risultano, duttili, resilienti e forti, possono essere sottoposti alle medesime lavorazioni di qualunque altro manufatto metallico.

Si tratta di una lavorazione adatta alla formatura di piccoli componenti, di peso generalmente non superiore a 100 grammi. Al pari dello stampaggio a iniezione convenzionale, il MIM è utilizzato soprattutto per le grosse produzioni.

Il MIM è piuttosto diffuso, poiché consente di produrre un'ampia gamma di forme e geometrie.

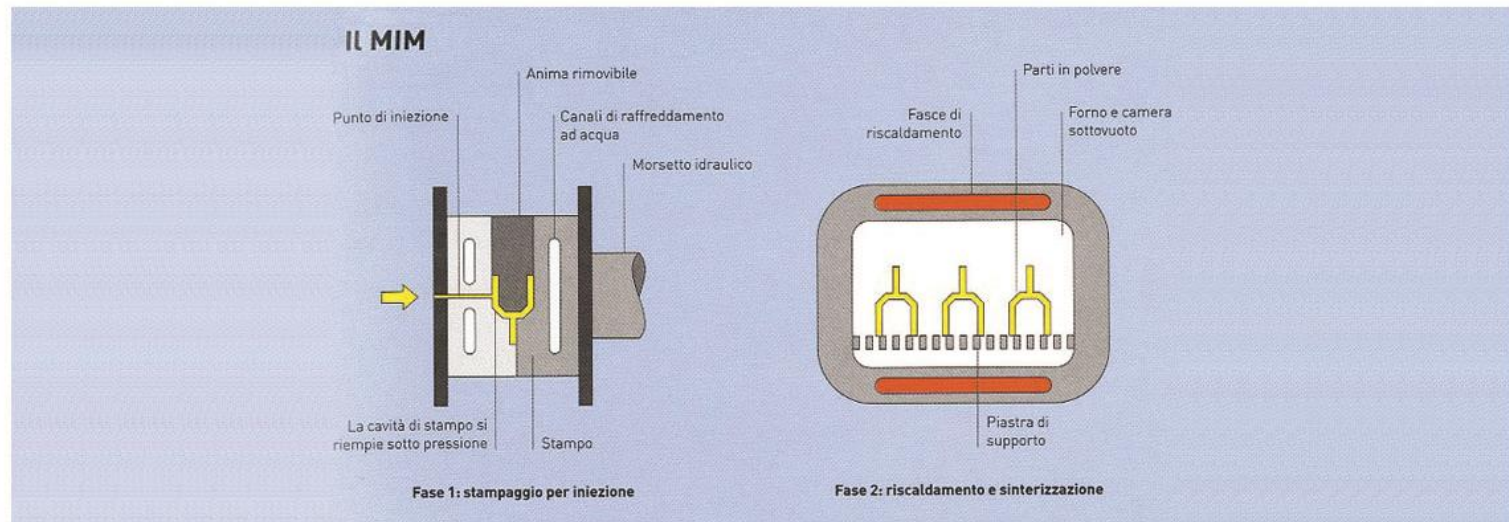
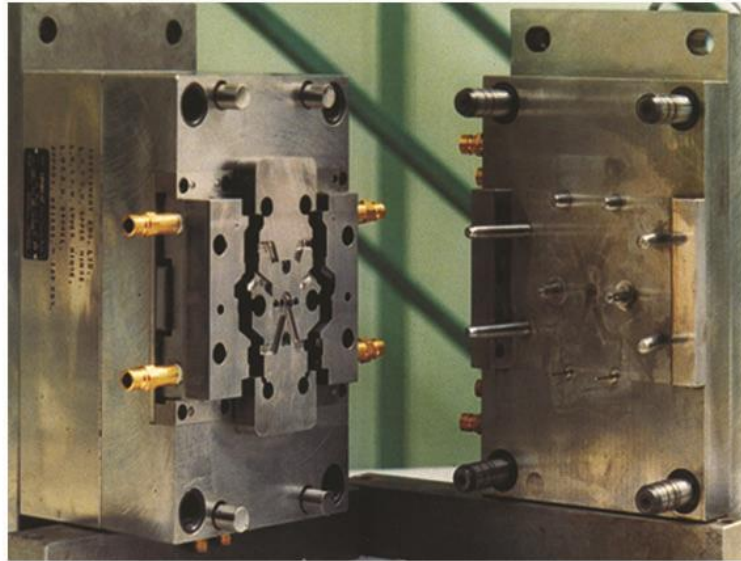
Metallurgia delle polveri (MIM)

La polvere metallica sottile è un composto di **materia termoplastica e legante di cera**. Le **particelle metalliche sferiche** costituiscono **grossomodo l'80% del materiale**.

Nella prima fase, il ciclo di iniezione è simile a quello dei processi di stampaggio a iniezione, sebbene i pezzi stampati siano **più grandi del 20%** prima del riscaldamento e della sinterizzazione, per consentire il **ritiro** del materiale dovuto alla rimozione del legante.

Nella seconda fase il pezzo è riscaldato in un forno speciale, per vaporizzare e rimuovere il legante di resina. I pezzi sono ora in metallo puro e possiedono una porosità minima.

Metallurgia delle polveri (MIM)



Lavorazioni per deformazione plastica

Nella maggior parte dei casi, i materiali metallici prodotti in lingotti di varia forma, devono essere trasformati in semilavorati di forma più vicina possibile a quella di utilizzo finale





Lavorazioni per deformazione plastica

Le lavorazioni per deformazione plastica possono avvenire **a caldo** o **a freddo**

- ✓ **deformabilità**
- ✓ **tipo di struttura**
- ✓ **proprietà meccaniche**
- ✓ **finitura superficiale**



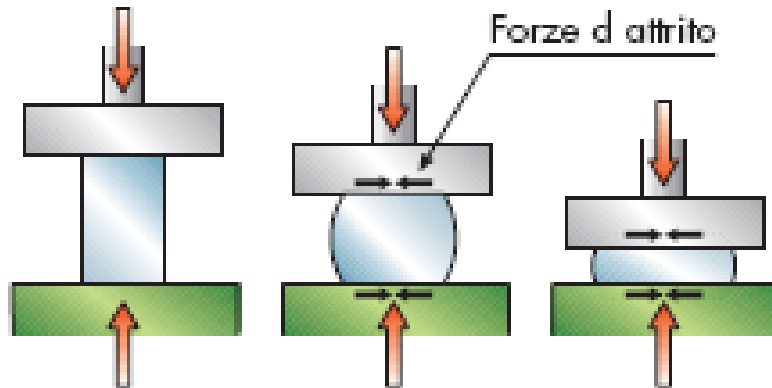
Lavorazioni per deformazione plastica

- ✓ **stampaggio**
- ✓ **laminazione**
- ✓ **estrusione**
- ✓ **trafilatura**
- ✓ **curvatura**

- ✓ **lavorazioni della lamiera**

Stampaggio

Si costringe il materiale metallico a riempire cavità





Stampaggio

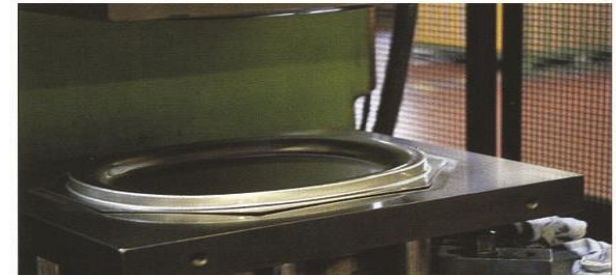
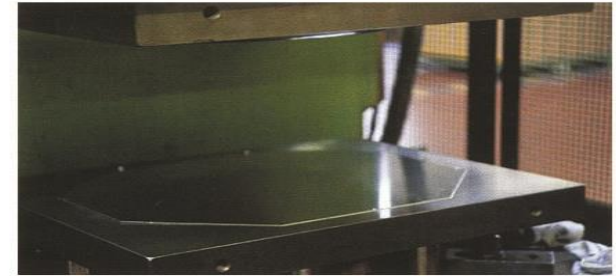
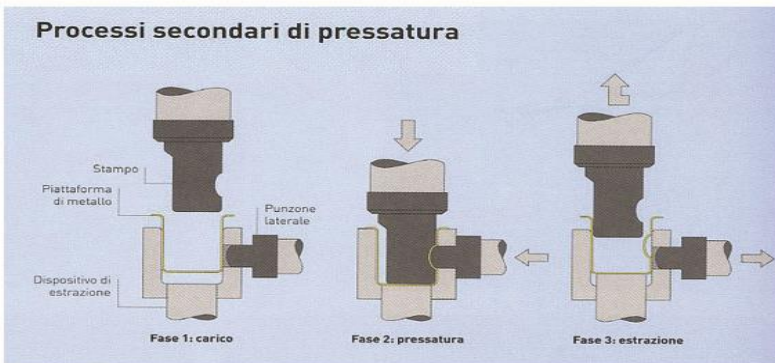
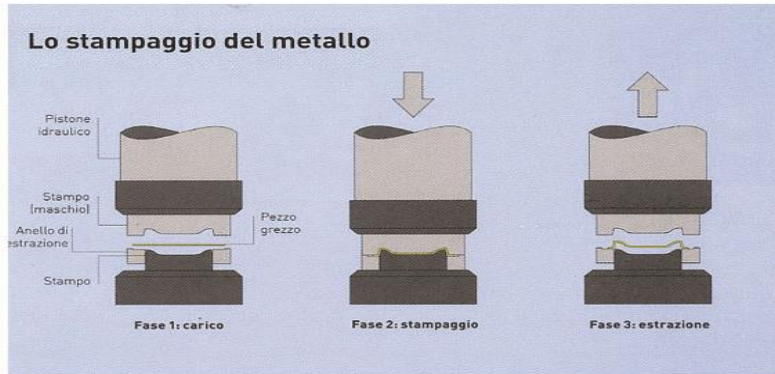
Questa tecnica permette di stampare pezzi **poco profondi** e profili curvi, modellando la lamiera mediante pressatura a freddo. Rapida e precisa, è impiegata in un'ampia gamma di prodotti d'uso quotidiano, dalle scocche d'auto ai vassoi.

Lo stampaggio del metallo crea profili poco profondi grazie all'azione di **stampi accoppiati di acciaio** che, essendo **molto costosi**, rendono il processo adatto solo in caso di produzioni su **larga scala**.

Il processo stampa **velocemente forme articolate o complesse**, senza ridurre in modo significativo lo spessore del materiale. Quando il rapporto tra la profondità e il diametro richiede un'imbutitura controllata, con una leggera riduzione dello spessore del materiale, si parla di imbutitura profonda.

Lo stampaggio del metallo è usato nel settore automobilistico, in particolare per la realizzazione di scocche per veicoli e le guarnizioni per porte e finestre. Tra i prodotti realizzati ricorrendo allo stampaggio, vi sono corpi per macchine fotografiche, telefoni cellulari, utensili da cucina e elettrodomestici.

Stampaggio





Imbutitura

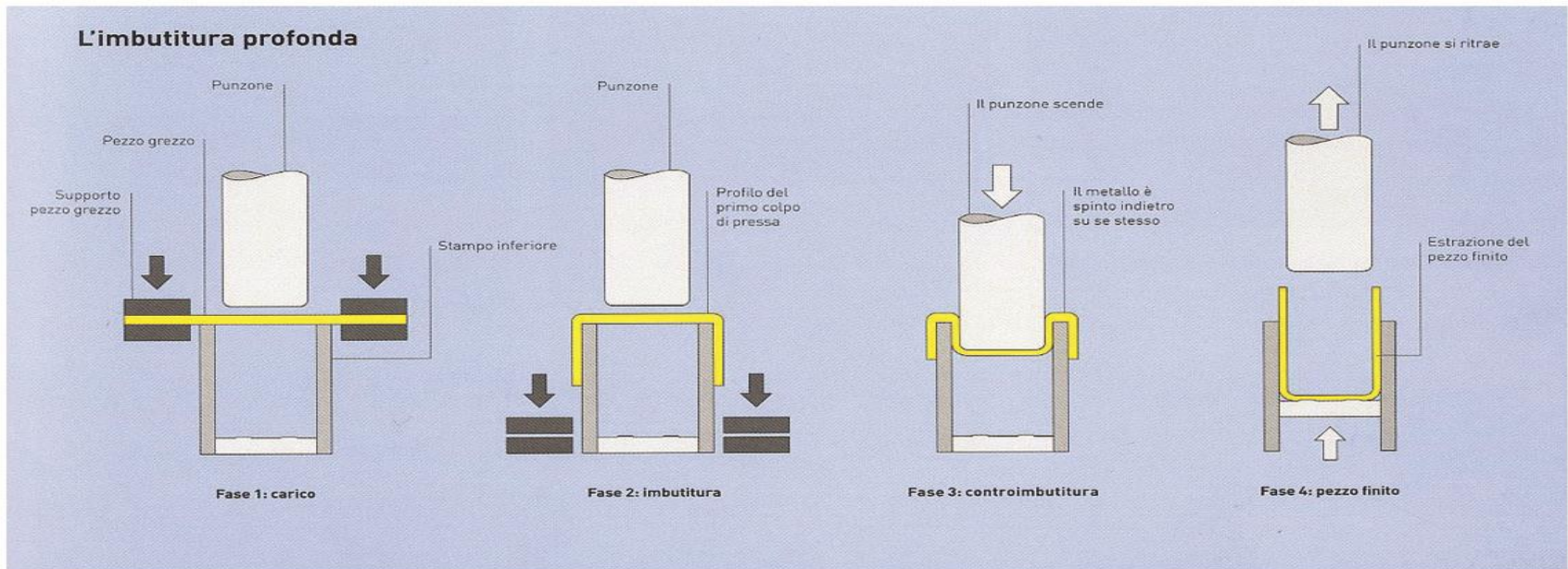
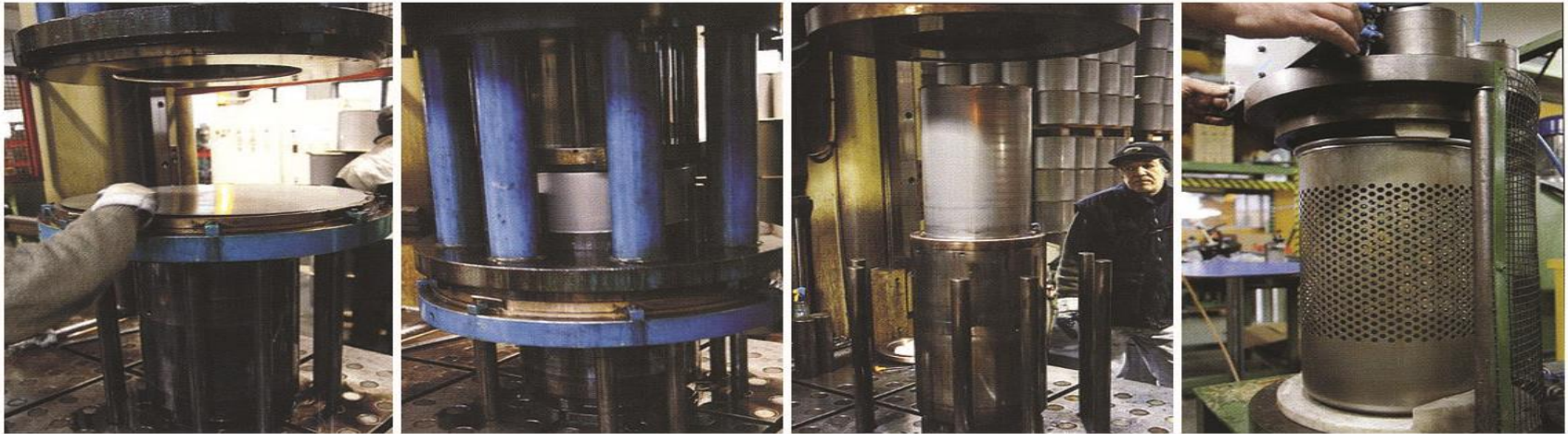
Questo processo di formatura a freddo si avvale di un **punzone che spinge** il pezzo di metallo in uno **stampo accoppiato**, dove assume forme di vario tipo. Per ottenere pezzi **molto profondi** si usa lo stampaggio progressivo.

La pressatura a freddo del metallo è detta imbutitura profonda quando la **profondità del colpo di pressa supera il diametro**. Ne risultano forme di lamiera metallica prive di giunzioni, che non richiedono ulteriori operazioni di formatura o saldatura.

La lamiera metallica può essere deformata in un'unica operazione nel caso in cui il tipo di materiale e la forma dell'artefatto lo consentono. Nel caso di pezzi **molto profondi** con forme complesse la lamiera viene deformata attraverso una **controimbutitura**. Quest'ultima pressa la lamiera due volte in una sola operazione, invertendo la forma dopo la prima imbutitura.

L'imbutitura profonda viene utilizzata nel settore automobilistico, aerospaziale, arredo e illuminazione.

Imbutitura



Stampaggio tridimensionale a caldo

Questo innovativo processo a caldo stampa lamiere metalliche applicando principi simili a quelli della termoformatura plastica: il pezzo grezzo è **riscaldato** fino al punto di **ammorbidimento** e stampato a **pressione su un utensile monolaterale**.

Scopo del processo è ridurre il peso dei componenti metallici, le operazioni di fabbricazione e il relativo spessore delle pareti.

Un foglio di alluminio viene riscaldato a una temperatura di 450-500 °C e spinto contro un utensile monolaterale maschio o femmina, facendo ricorso alla pressione dell'aria.

Esistono quattro tipologie di stampaggio tridimensionale: **cavity, bubble, backpressure e diaphragm**, ciascuna delle quali fa riferimento ad applicazioni specifiche.

Stampaggio tridimensionale a caldo

La tipologia **cavity** è adatta alla formatura di pezzi grandi e complessi, quali le scocche per auto e a materiali come lega di alluminio.

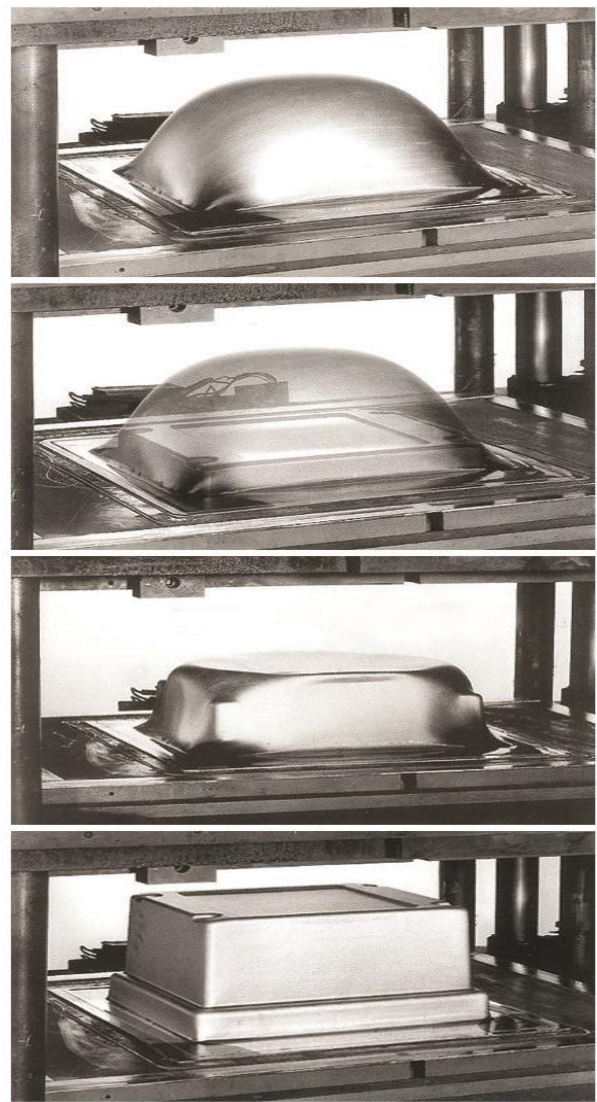
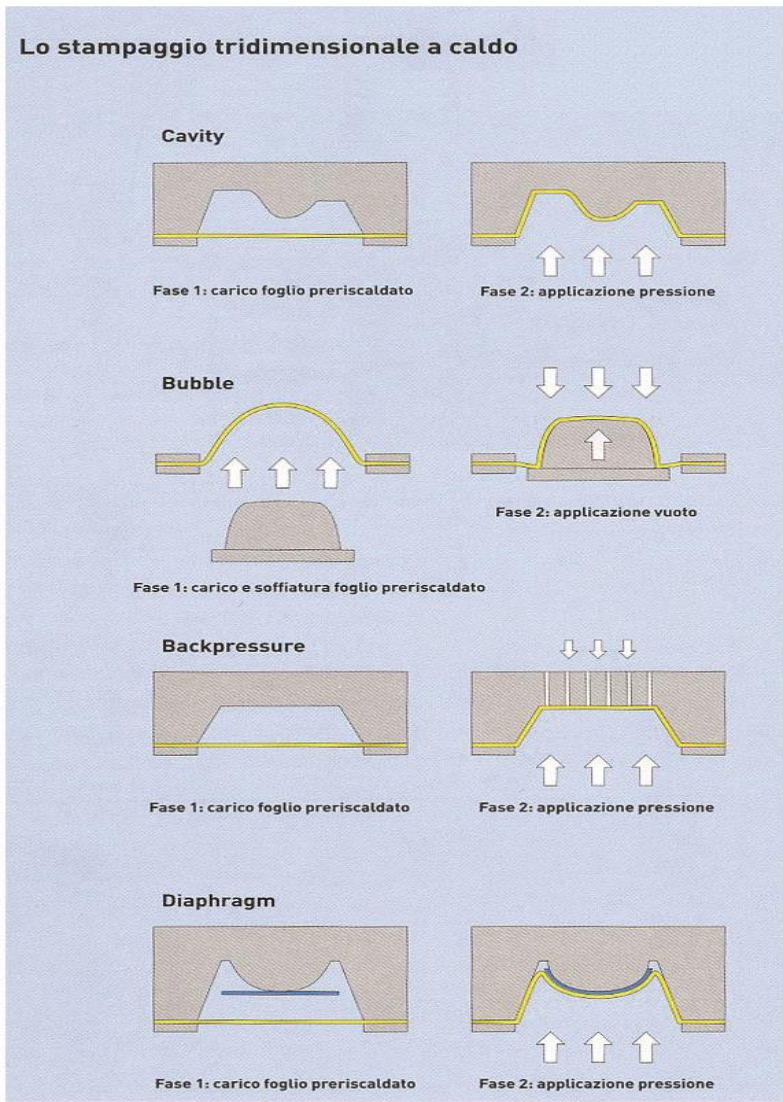
Il **bubble** è impiegato per la forma di componenti profondi e complessi, in particolare quando lo spessore delle pareti deve rimanere relativamente costante.

Il processo **backpressure** è stato sviluppato per produrre componenti strutturali per l'aviazione. Simile al **cavity**, se ne distingue per l'utilizzo della pressione dell'aria su entrambi i lati della lamiera, la quale è spinta gradualmente sulla superficie dell'utensile mediante un leggero differenziale di pressione, che mantiene il foglio integro ed è quindi indicato anche per le leghe difficili.

La tipologia detta **diaphragm** è utilizzata, infine, per stampare forme complesse di componenti strutturali in leghe cosiddette 'non-superplastiche' (materiali superplastici sono alluminio, magnesio e titanio).

Questa tecnologia di formatura viene utilizzata per creare forme complesse da una singola lastra nel settore automobilistico, aerospaziale, edile, ferroviari e arredo.

Stampaggio tridimensionale a caldo



Fucinatura

La formatura a caldo del metallo per martellatura e pressatura un tempo era eseguita dai fabbri con incudine e martello. Oggi martellatura, pressatura e laminazione a caldo dei metalli fanno ricorso a stampi sofisticati e a pressioni di lavoro estreme. La fucinatura può essere fatta **a stampo, alla pressa e a rullo**.

La **fucinatura a stampo** può essere **a stampo aperto**, effettuata generalmente con stampi piatti per ottenere forme più semplici, o **a stampo chiuso**, eseguita con stampi sagomati per ottenere forme tridimensionali particolarmente complesse.

La **fucinatura alla pressa** è sostanzialmente analoga alla precedente, differenziandosi per l'utilizzo di una **pressione idraulica continua**, che sostituisce la martellatura. Può essere **a caldo** o **a freddo**; la temperatura del metallo è determinata dal materiale, dalle dimensioni e dalla geometria del pezzo.

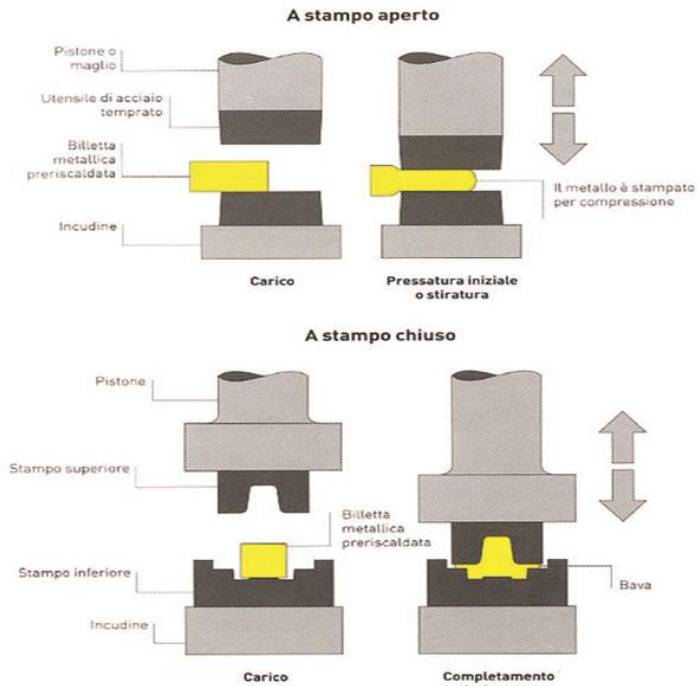
Fucinatura

La **fucinatura a rullo** forma pezzi in alimentazione continua, grazie ad una serie di rulli metallici.

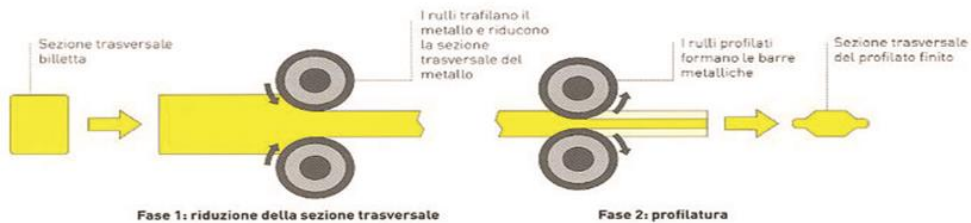
L'alta resistenza dei pezzi di metallo forgiato li rende ideali per **applicazioni estreme** e per comportamenti **critiche** che richiedono un'ottima resistenza alla fatica. I componenti forgiati si ritrovano nelle apparecchiature di sollevamento in applicazioni aerospaziali e militari, negli autoveicoli e nei macchinari pesanti.

Fucinatura

La fucinatura a stampo

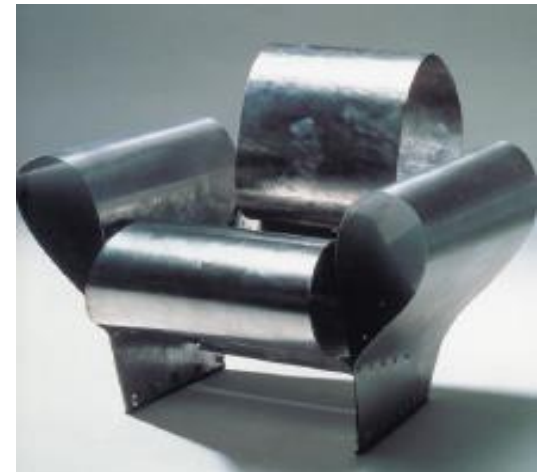
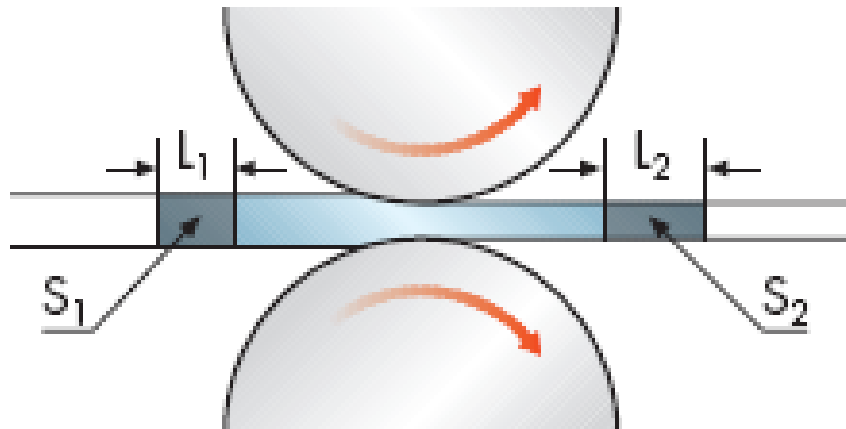


Fucinatura a rullo

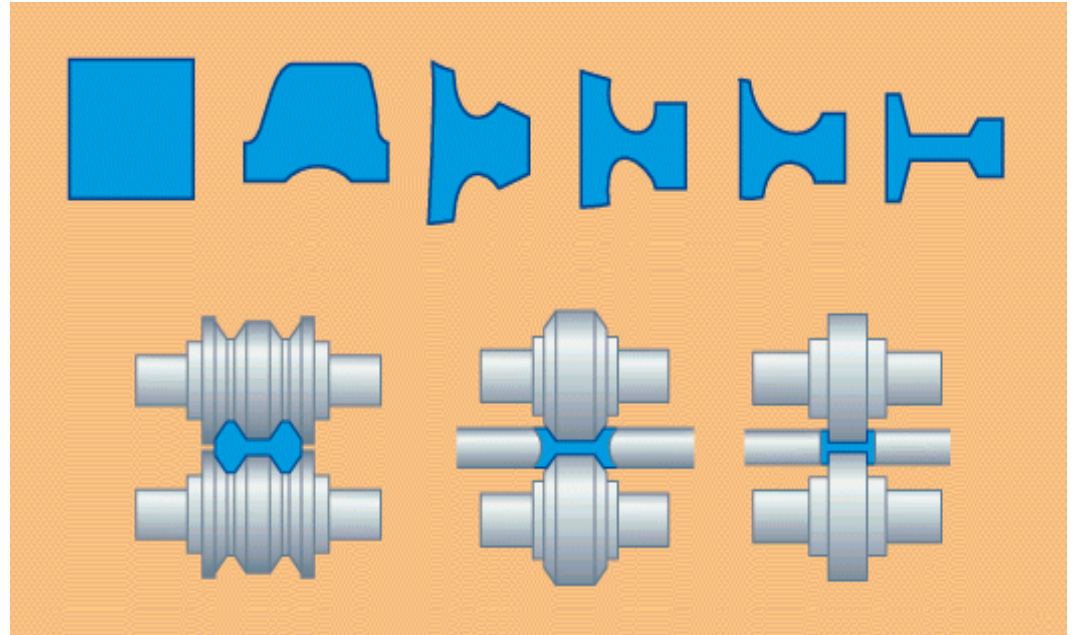
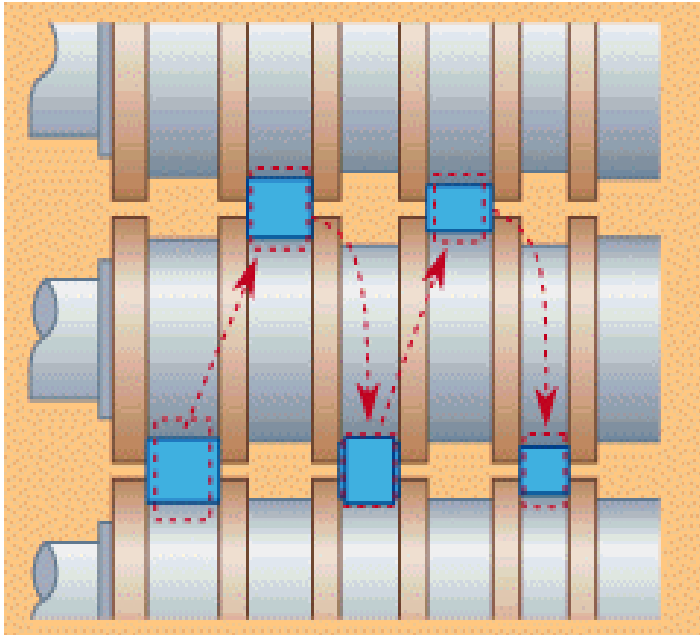


Laminazione

Serve a ridurre la sezione trasversale di un semilavorato



Laminazione



Laminazione – Profilatura a rulli

L'azione **progressiva di rulli** consente di ricavare pannelli, canali, angoli o poligoni alettati da fogli e strisce di metallo.

Questo processo di formatura a freddo per lamiere metalliche, in grado di produrre profili continui bidimensionali con spessore di parete costante, può piegare, per esempio, strisce di metallo (sp. max. 5 mm) in pezzi continui, con lunghezza non superiori di 20 m, di forma angolare, canalizzata, tubolare e poligonale.

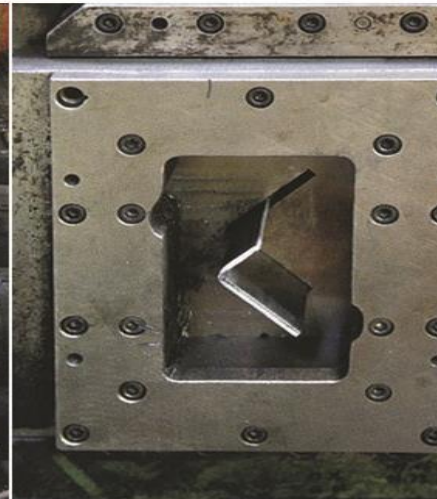
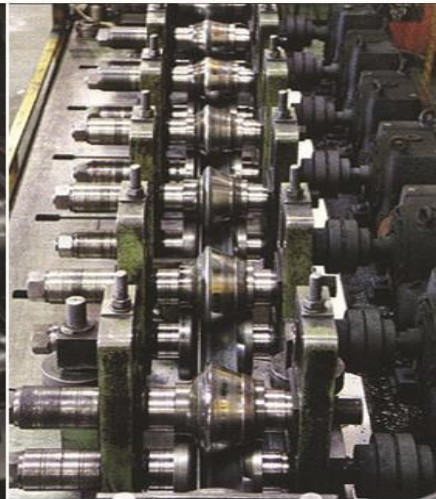
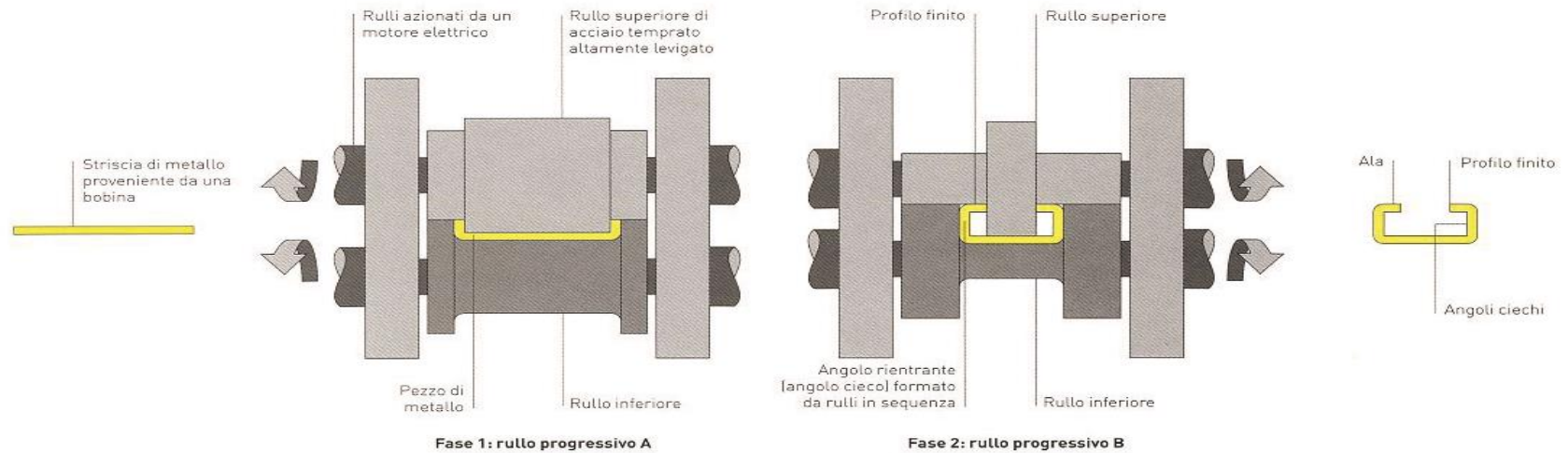
I rulli sono montati l'uno accanto all'altro e stampano la lamiera creando modelli nervati, corrugati e ondulati larghi fino a 4 m, senza produrre scarti di lavorazione.

Curvare un foglio di lamiera ne aumenta la resistenza; la profilatura a rulli unisce la duttilità e la resistenza tipiche del metallo, creando pezzi più rigidi e leggeri.

La profilatura viene utilizzata nel settore dell'edilizia (coperture edili e pareti), automobilistico, aerospaziale e arredo.

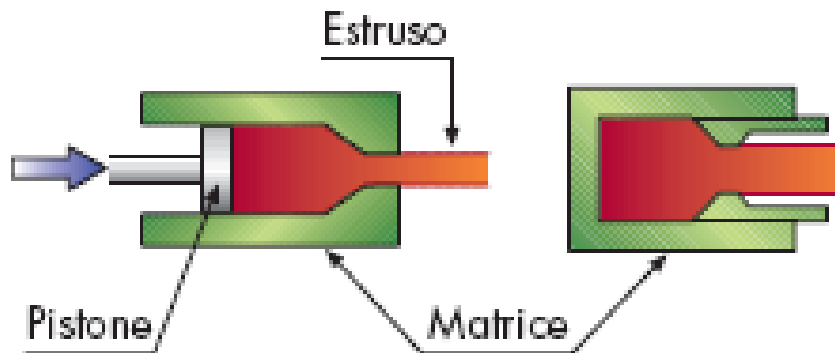
Laminazione – Profilatura a rulli

La profilatura a rulli (a freddo)



Estrusione

Il materiale metallico è costretto sotto l'azione di un pistone, a fluire attraverso una matrice di forma e dimensioni volute assumendone il profilo



Trafilatura

La trafilatura è un'operazione con la quale si modifica, di solito a freddo, la sezione di una barra o di un tubo, tirandoli attraverso una matrice (trafila o filiera)



Curvatura tubi e profilati

Questo processo forma strutture metalliche fluide e continue. Le curve strette si ottengono posizionando un mandrino (dispositivo meccanico che serve a tenere fermo un pezzo di forma circolare) su uno stampo girevole, mentre le curve ampie si ottengono attraverso appositi rulli.

Di norma, le tecniche di curvatura sono economiche e fanno ricorso alla duttilità e alla resistenza del metallo. In alcune applicazioni, la curvatura riduce al minimo tagli e giunzioni, riducendo scarti e costi.

La curvatura di tubi e sezioni è principalmente di due tipi: piegatura su mandrino e laminazione

La piegatura su mandrino è indicata soprattutto per la realizzazione di curve strette in tubi metallici di piccolo diametro. Prende il nome dal mandrino, un dispositivo meccanico inserito nel tubo che serve a impedire che il pezzo circolare si ripieghi su se stesso durante la curvatura.

Questo sistema di lavorazione viene utilizzata per piegare pezzi impiegati nel settore dell'arredo e automobilistico.

Curvatura tubi e profilati

La laminazione ad anello, utilizzata per formare curve continue e solitamente di ampio raggio di profilati (tubi, barre o profili estrusi), è detta anche curvatura di sezione.

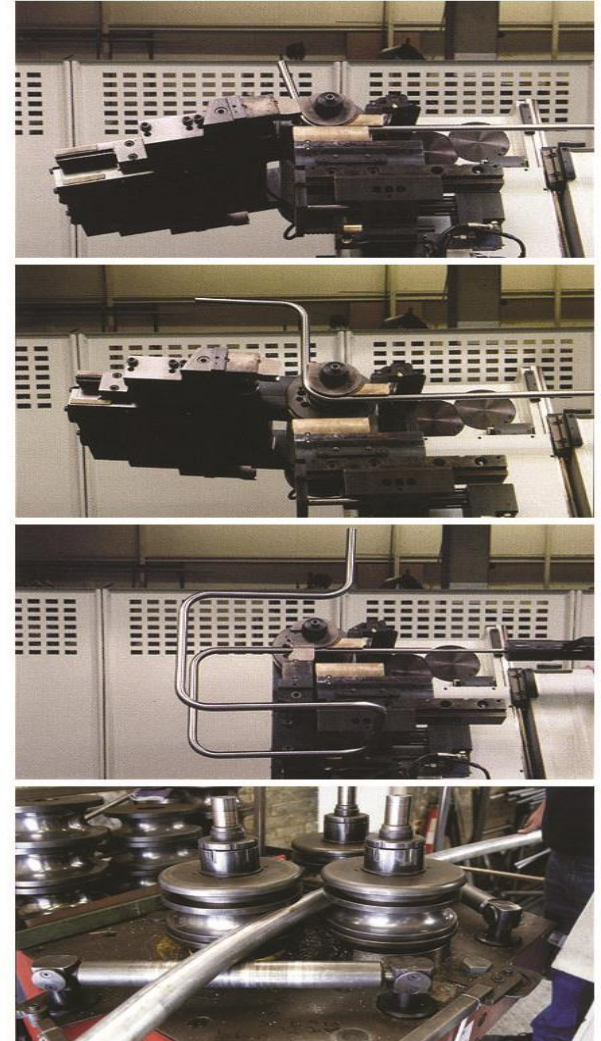
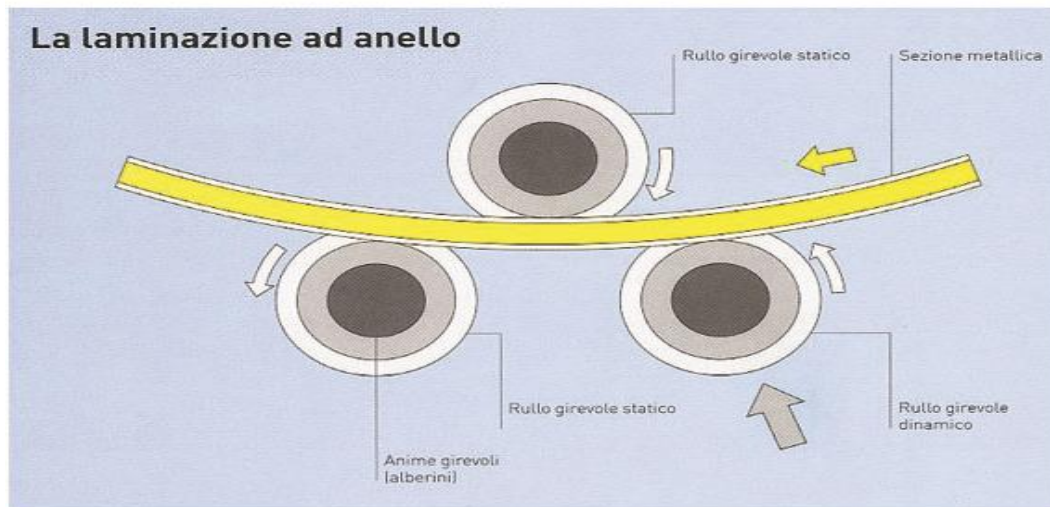
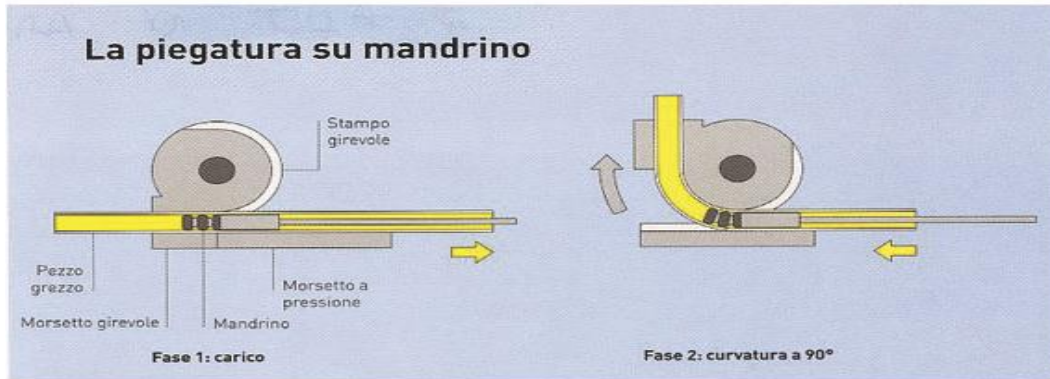
Le due principali funzioni della laminazione ad anello sono la piegatura di profili lunghi e la formatura di anelli.

Questa tecnica permette di curvare tubi lunghi, con diametro fino a 1 m, o arrotolare fogli di metallo larghi anche 4,5 m, in modo da formare un tubo o un cono, di spessore non superiore 80 mm.

Quando si usa il materiale in fogli si parla di rullata su lastra. Applicare una curvatura a un materiale in fogli ne aumenta la resistenza; questi processi uniscono infatti la duttilità e la resistenza tipica dei metalli, dando vita a pezzi più rigidi e leggeri.

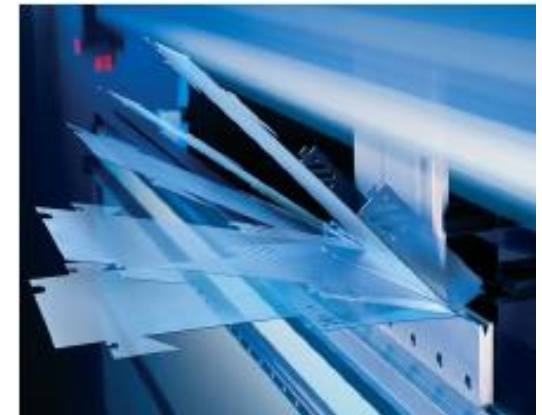
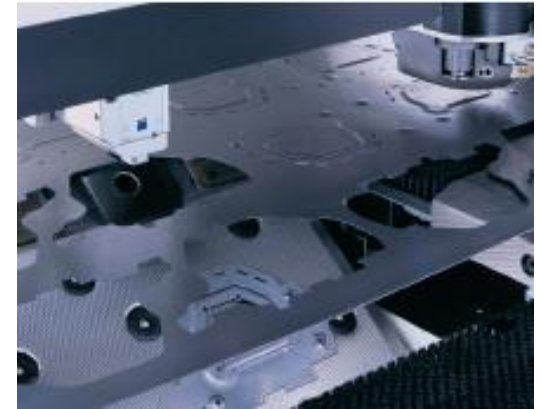
Questo sistema di lavorazione viene utilizzato per piegare pezzi impiegati nel settore edile (travi strutturali di ponti e edifici e facciate architettoniche) e nel settore dell'arredo urbano e stradale.

Curvatura tubi e profilati



Lavorazione della lamiera

- ✓ **battitura e calandratura**
- ✓ **tornitura in lastra**
- ✓ **taglio**
- ✓ **tranciatura e punzonatura**





Battitura e calandratura

Forme metalliche **curve e ondulate** sono il principale risultato di questo processo di formatura su lastra che, se unito a tecnologie di saldatura ed eseguito da un operatore specializzato, è in grado di dare vita alle forme più svariate.

La formatura per battitura **allunga** le lastre metalliche in modo controllato, utilizzando le diverse tecniche: piegatura a pressa, bombatura, ondulatura, calandratura (detta anche ruota inglese) e scanalatura su maschera (martellatura).

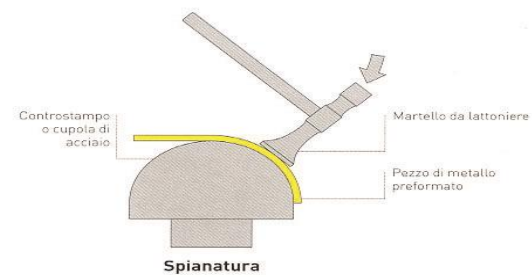
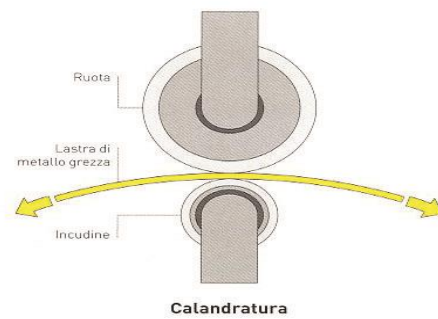
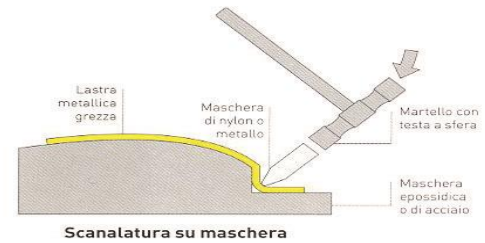
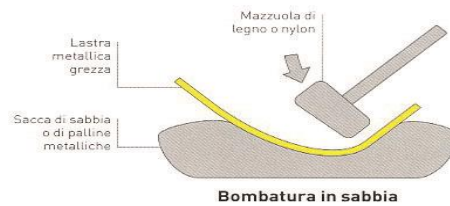
Questi processi, insieme alla saldatura ad arco, sono in grado di produrre qualunque tipo di profilato metallico.

La battitura è usata nel settore automobilistico, aerospaziale e dai mobilifici per la produzione di prototipi, in pre-produzione e per quantità limitate, in particolare per la realizzazione di telai e scocche per veicoli.

Battitura e calandratura



La battitura



Piegatura a pressa

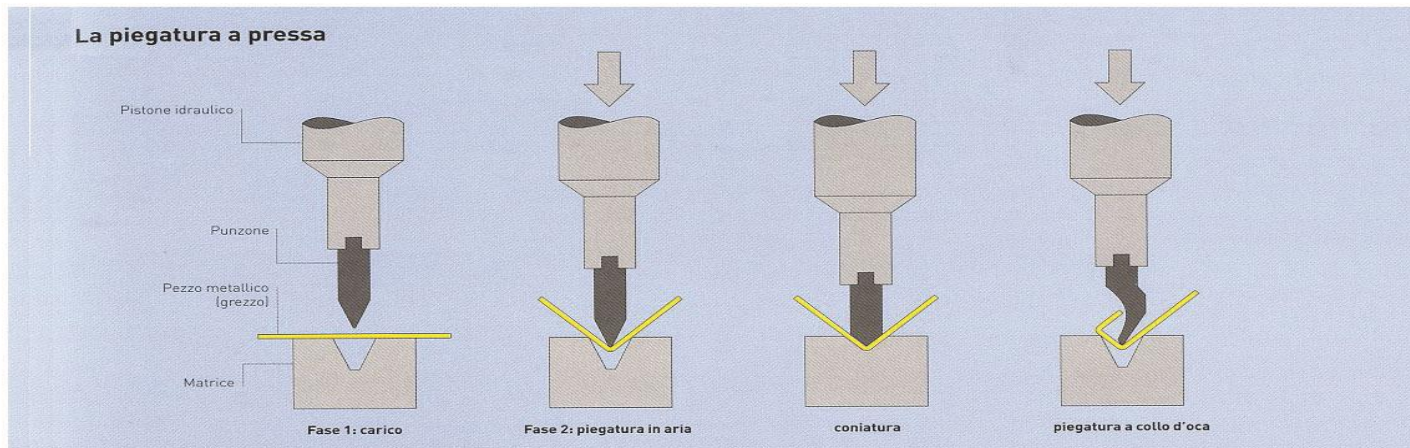
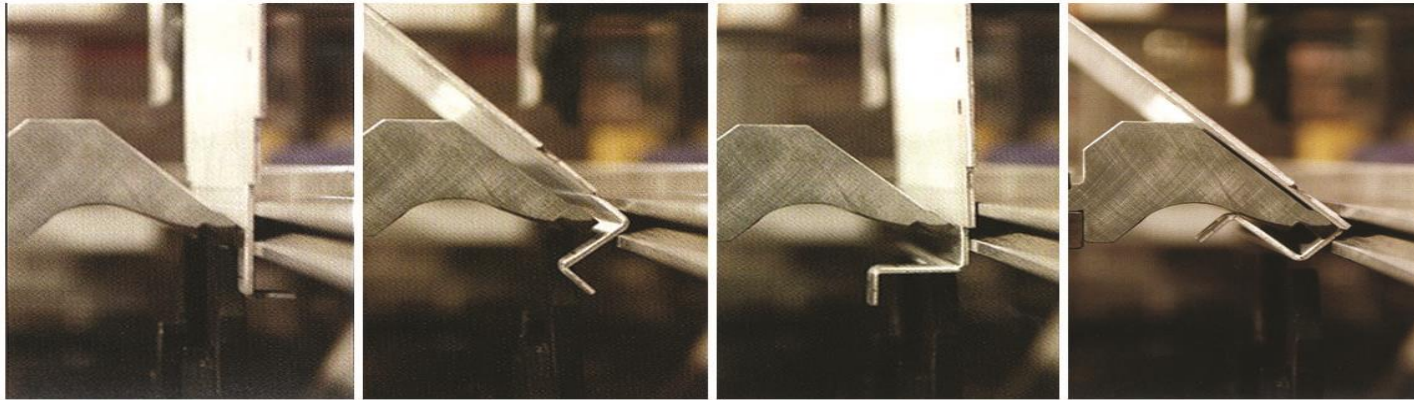
Una tecnica semplice e versatile per **piegare profilati metallici in fogli** e realizzare prototipi e produzioni seriali, tra cui elementi curvi, forme continue e lamiere. È detta anche formatura mediante pressa piegatrice.

Le presse piegatrici sono indispensabili per le produzioni metalliche di piccole e medie dimensioni. Accostate ad attrezzature per il taglio e la saldatura, sono in grado di produrre un'ampia gamma di prodotti.

La pressione è applicata mediante un **pistone idraulico**, che piega il metallo **lungo un asse singolo tra un punzone e una matrice**. Esistono punzoni e matrici standard adatti a produrre un'ampia gamma pezzi angolari e circolari, ma sempre lungo una linea retta.

La piegatura a pressa viene utilizzata nel settore edile (parti architettoniche in metallo), dell'arredamento e dell'illuminazione.

Piegatura a pressa

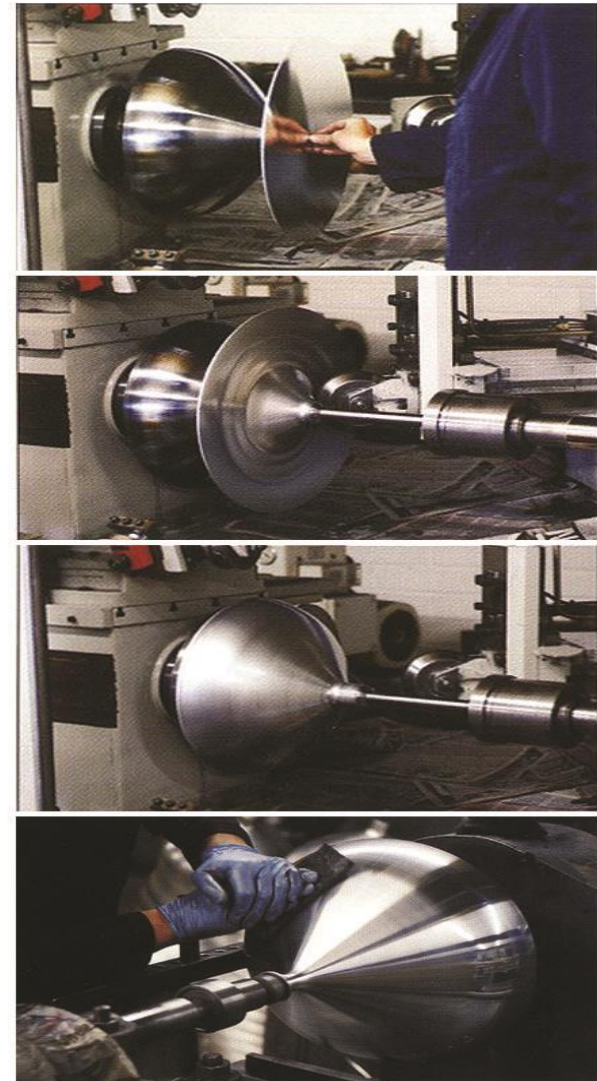
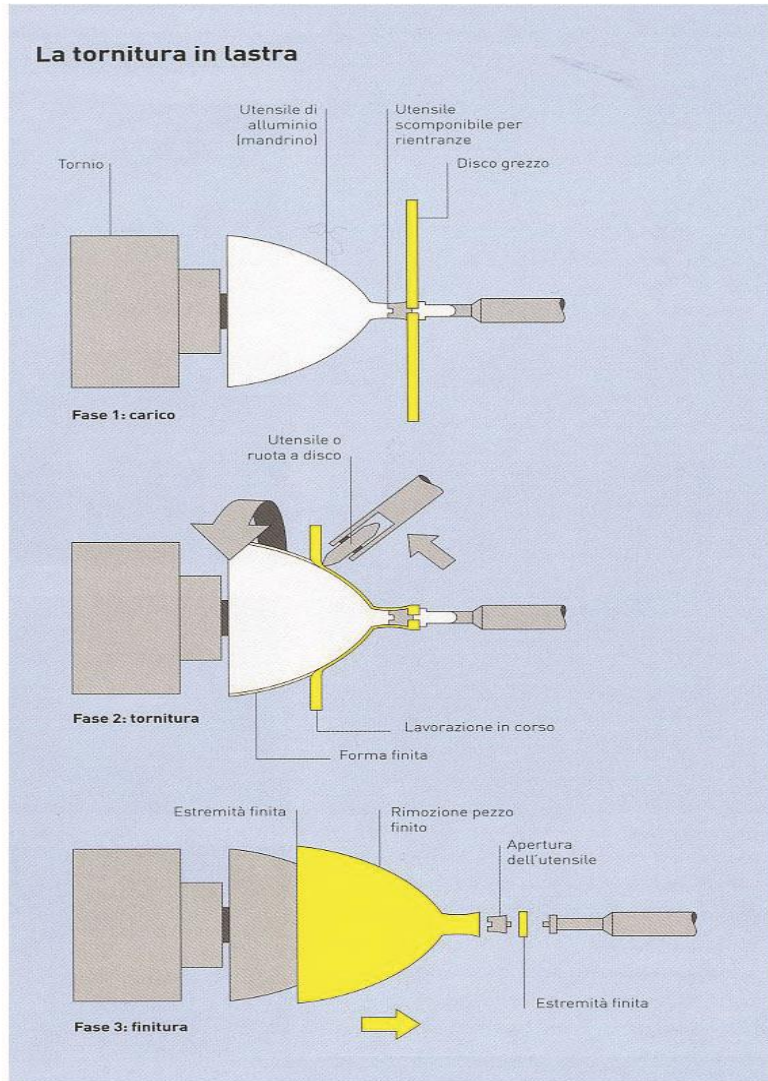


Tornitura in lastra

La **tornitura in lastra** è il processo più adatto per creare profili metallici di lamiera con **superfici di rotazione** quali cilindri, coni e semisfere. Si tratta di un processo industriale che mantiene alcuni aspetti artigianali ottenuti da operatori altamente specializzati.

La tornitura in lastra è usata nel settore automobilistico, aerospaziale, arredamento, illuminazione, utensili da cucina e in gioielleria.

Tornitura in lastra





Taglio laser

Lavorazione meccanica **CNC** ad alta precisione che può essere usata per **tagliare, incidere, intagliare e marcare** una grande **varietà di materiali** in fogli, tra cui metallo, plastica, legno, tessuto, vetro, ceramica e cuoio.

I due principali tipi di laser usati in questa lavorazione sono il laser CO2 e quello Nd-YAG. Entrambi operano **concentrando l'energia termica** su un punto di larghezza massima di 1 mm per **fondere o far evaporare** il materiale. L'operazione avviene ad altissima velocità in modo da produrre pezzi **molto precisi** con contorni già ben rifiniti. La differenza principale tra il laser CO2 e il laser Nd-YAG si differenzia dalla lunghezza d'onda dei raggi infrarossi. Il laser Nd-YAG è più versatile del laser CO2.

La qualità del taglio dipende dalla scelta del materiale. Nei materiali termoplastici, ad esempio, il vantaggio del taglio laser è quello di ottenere un'incisione i cui contorni non necessitano di essere rifiniti.



Taglio laser

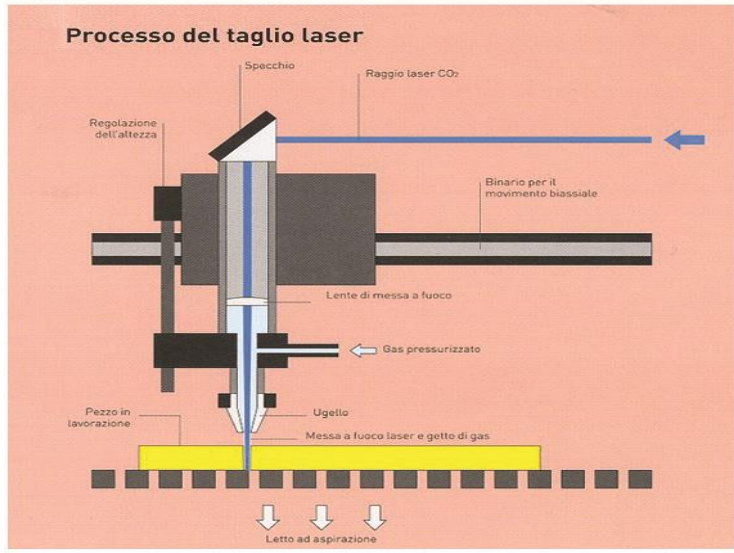
Durante il processo, il pezzo **non subisce sollecitazioni**, come per esempio nel processo di taglio con lame, ed è possibile realizzare tagli minuscoli e complessi senza ridurre potenza o produrre distorsioni. Pertanto questa tecnologia consente di tagliare materiali molto **sottili e delicati**.

Con l'incisione raster si possono praticare tagli di **profondità diverse** per produrre loghi, immagini e caratteri sulla superficie dei materiali.

Si tratta di sistemi di taglio **vettoriali**: i laser procedono lungo una serie di linee da **punto a punto**. I file usati provengono direttamente da dati CAD (formati dxf e dwg), divisi in layer che determinano la profondità di ciascun taglio. È importante che tutte le linee siano unite, in modo che il taglio laser proceda su una traiettoria continua. Il taglio può essere effettuato su fogli con spessore variabile da 0,2 mm a 40 mm).

Con questi metodi si possono tagliare svariati materiali, come legno, carta e cartoncino, marmo sintetico, metalli, materiali tessili, gomme, plastiche e alcuni vetri e ceramiche.

Taglio laser





Tranciatura e punzonatura

Per ottenere **fori** circolari, quadrati e profilati da lamiera si usa un **punzone** in acciaio temperato. L'attrezzatura può essere speciale o standard, a seconda delle forme geometriche e della complessità del disegno.

La punzonatura e la profilatura sono processi meccanici di **tranciatura** utilizzati nella lavorazione dei metalli. Sono sostanzialmente la stessa cosa, ma vengono usate per scopi diversi: nella **punzonatura si ritaglia una forma interna** e nella **profilatura una sagoma esterna**.

Ritagliare parti estese (profilatura), o asportare grande quantità di materiale dal centro del pezzo (punzonatura), oltre gli 85 mm di diametro diventa impraticabile con un unico utensile, perché sarebbe troppo costoso; in tal caso si interviene con diversi punzoni tutt'intorno al perimetro del taglio, come nel processo di 'roditura'.

Con questi metodi si possono produrre utensili da cucina, filtri, lavatrici, cerniere, separatori, parti metalliche generiche e di carrozzeria.

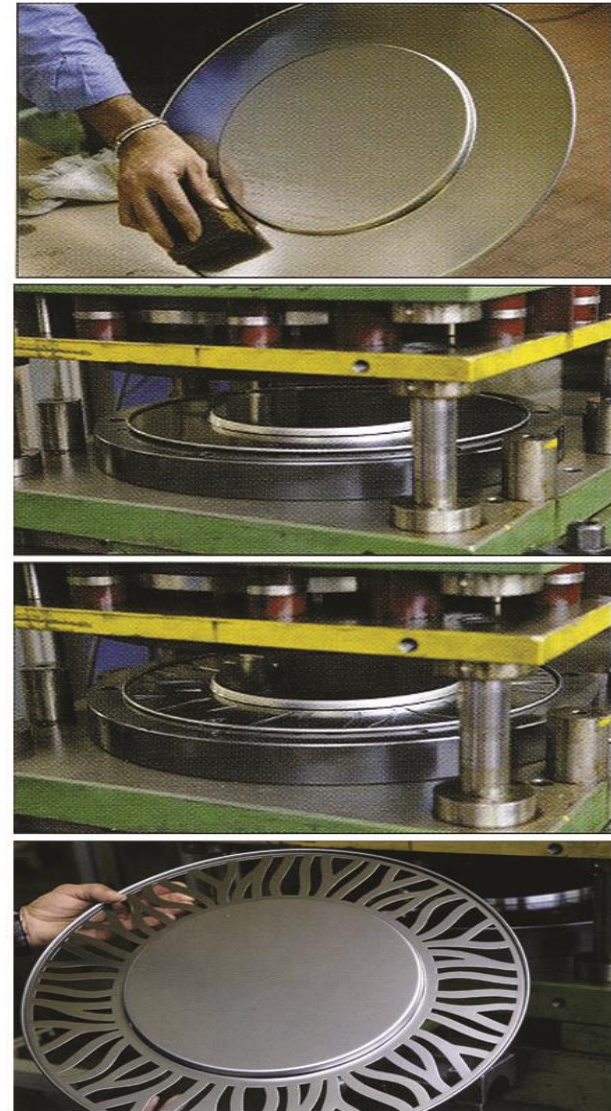
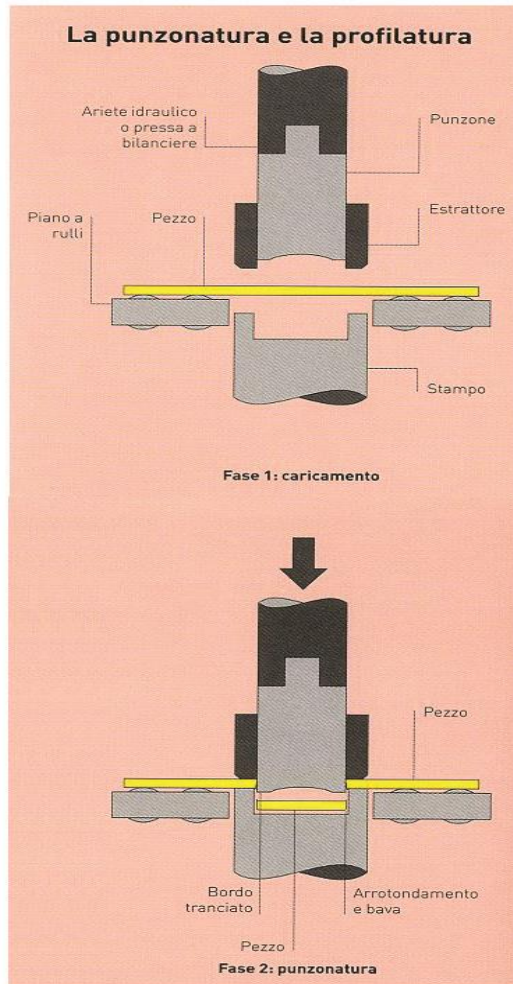
Tranciatura e punzonatura

Questi processi possono essere usati soltanto per **lamiera sottili** (fino a 5 mm). Il taglio a getto d'acqua e il taglio laser sono invece adatti a una gamma più vasta di materiali e di spessori.

L'azione di taglio forma un **arrotondamento** dei bordi tranciati e compromette i contorni del materiale, creando **bave taglienti** che vanno rimosse tramite **molatura e lucidatura**.

Quasi tutti i materiali possono subire questi processi, anche se i più usati sono l'acciaio al carbonio, l'acciaio inossidabile, l'alluminio e le leghe di rame. Anche materiali come cuoio, tessuti, plastica, carta e cartoncino, possono essere punzonati, ma non con macchine specifiche per la lavorazione dei metalli, perché si tratta di materiali più morbidi e più semplici da trattare (tranciatura).

Tranciatura e punzonatura





Taglio a getto d'acqua

L'azione di taglio avviene mediante un **getto d'acqua ad alta pressione**, mescolato in genere con **abrasivi**, che è in grado di tagliare **quasi tutti i materiali** in fogli, dalla schiuma al titanio, compreso l'acciaio inossidabile di 60 mm di spessore.

È un processo **versatile** per tagliare a **freddo** materiali in fogli per uso commerciale e industriale. Diffuso fin dagli anni '70, ha avuto una rapida evoluzione. Nel taglio a getto d'acqua con abrasivo, piccole particelle di materiale tagliente, **in sospensione nel getto d'acqua** ad alta velocità, **agevolano** il processo di taglio nei materiali duri. Entrambi i tagli sono molto precisi.

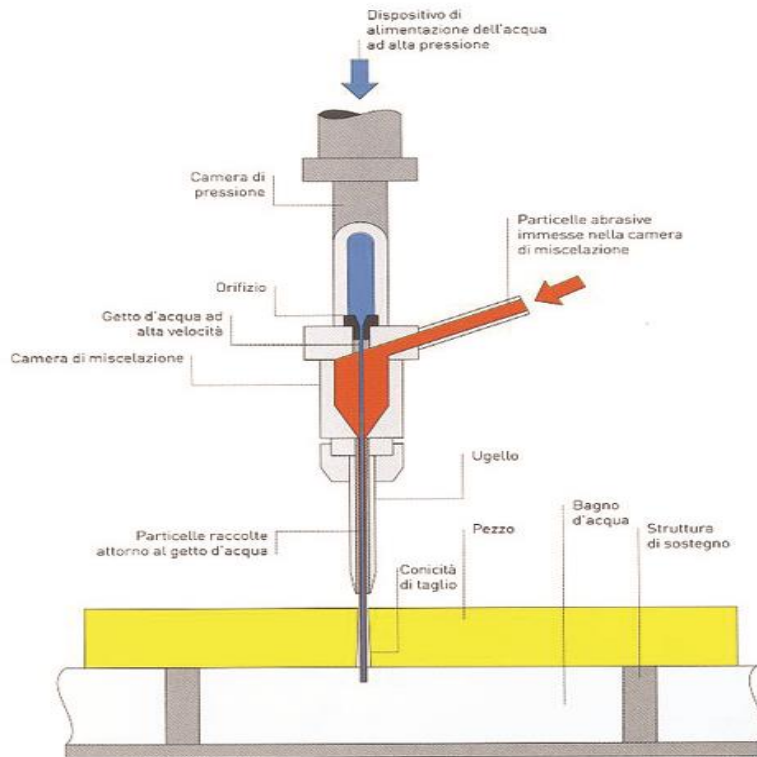
Il getto d'acqua produce un taglio **molto più pulito** di quello con abrasivi.

Questo processo di taglio viene adottato nell'industria aerospaziale (taglio del titanio) e nel settore dell'automobilismo (taglio della plastica rinforzata con fibre di carbonio).

Quasi tutti i materiali possono essere tagliati con questo metodo, compresi quelli naturali.

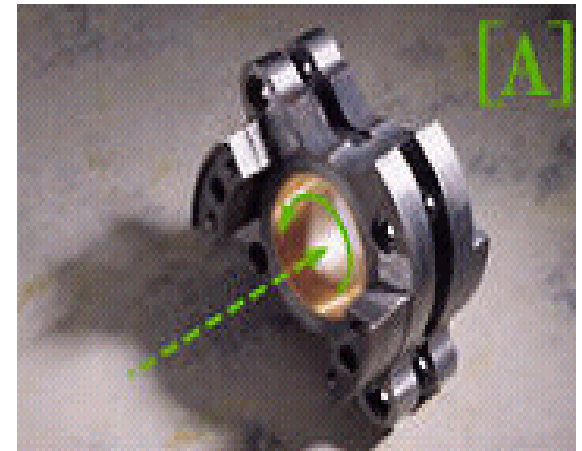
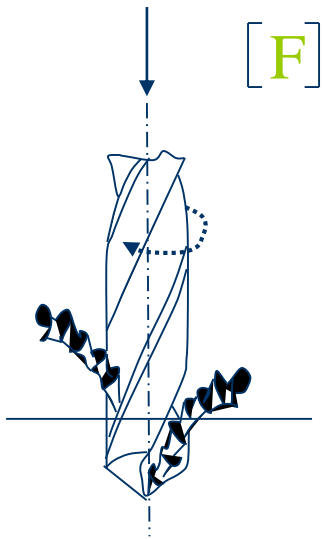
Taglio a getto d'acqua

Il getto d'acqua con abrasivo



Lavorazione alle macchine utensili

- ✓ tornitura
- ✓ foratura (alesatura)
- ✓ fresatura



Lavorazioni con abrasivi e convenzionali

- ✓ con abrasivi
- ✓ non convenzionali

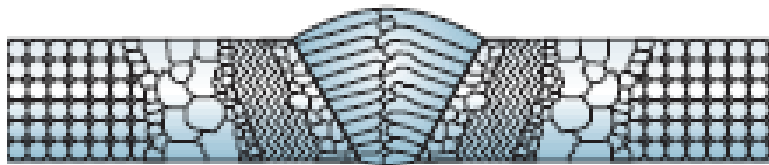


Processi di giunzione

- ✓ **saldatura e brasatura**
- ✓ **giunzioni meccaniche**
- ✓ **incollaggio**

Processi di giunzione

- ✓ **saldatura e brasatura**
- ✓ **giunzioni meccaniche**
- ✓ **incollaggio**



Saldatura ad arco

La saldatura ad arco abbraccia una **varietà di processi** di saldatura per fusione che possono essere fatti sia in modo manuale che meccanico.

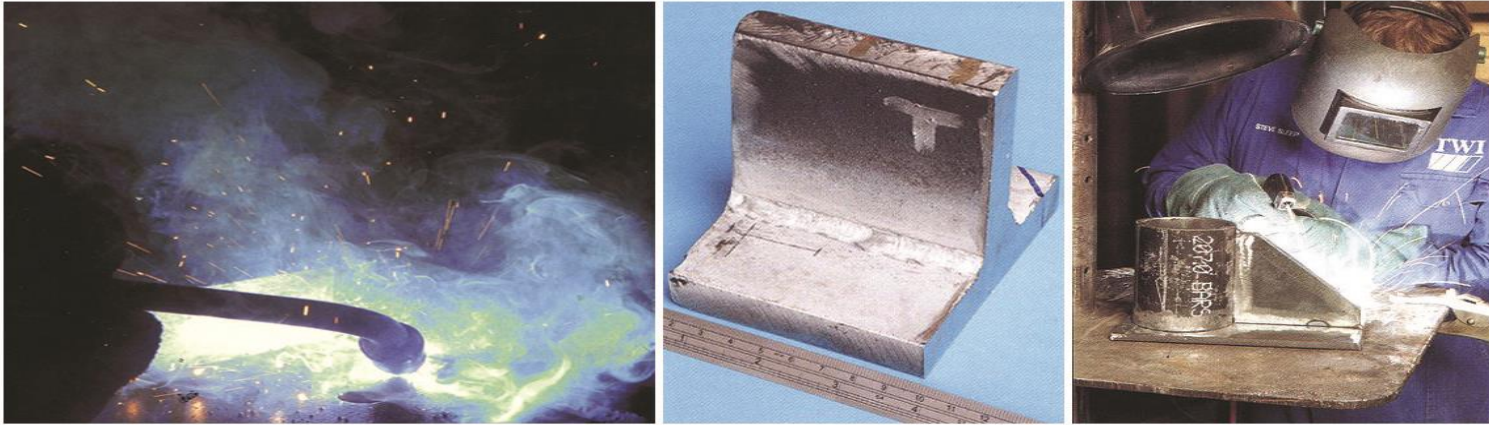
La saldatura ad arco unisce i metalli **riscaldando e fondendo** l'area di contatto, che solidifica creando una giunzione a **elevata integrità**.

Queste lavorazioni si possono usare **solo per la giunzione di metalli** perché per produrre calore sfruttano la formazione di un arco elettrico tra pezzo ed elettrodo.

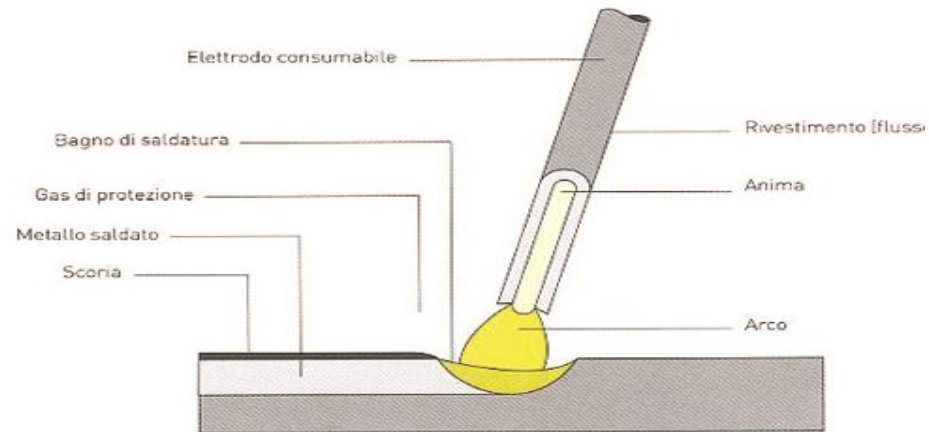
L'area di contatto e l'elettrodo (in alcuni casi) fondono, formando un **bagno di saldatura** che solidifica rapidamente creando un **cordone di saldatura** metallico. Il bagno fuso è **protetto** dall'aria da un gas di protezione e da uno strato di scoria (in alcuni casi) e favorisce la formazione di un giunto 'forte'.

Esistono differenti tipi di saldatura ad arco che dipendono dal tipo di lega e dal tipo di lavorazione che deve essere effettuata. I tipi più comuni di saldatura ad arco sono a **elettrodo rivestito** o MMA (manual metal arc), **MIG** (metal inert gas) e **TIG** (tungsten inert gas), ad arco sommerso **SAW** e saldatura a plasma **PAW**.

Saldatura ad arco



La saldatura a elettrodo rivestito (MMA)



Saldatura a fascio di energia

Tra le lavorazioni di saldatura più efficaci, quella a fasci di elettroni riesce a giuntare acciai di spessore fino a 150 mm e alluminio fino a 450 mm, mentre la tecnica a fascio laser si utilizza soprattutto su materiali di spessore superiore a 15 mm.

La saldatura a fascio di energia unisce i metalli riscaldando e fondendo l'area di contatto, che solidifica creando una giunzione a elevata integrità.

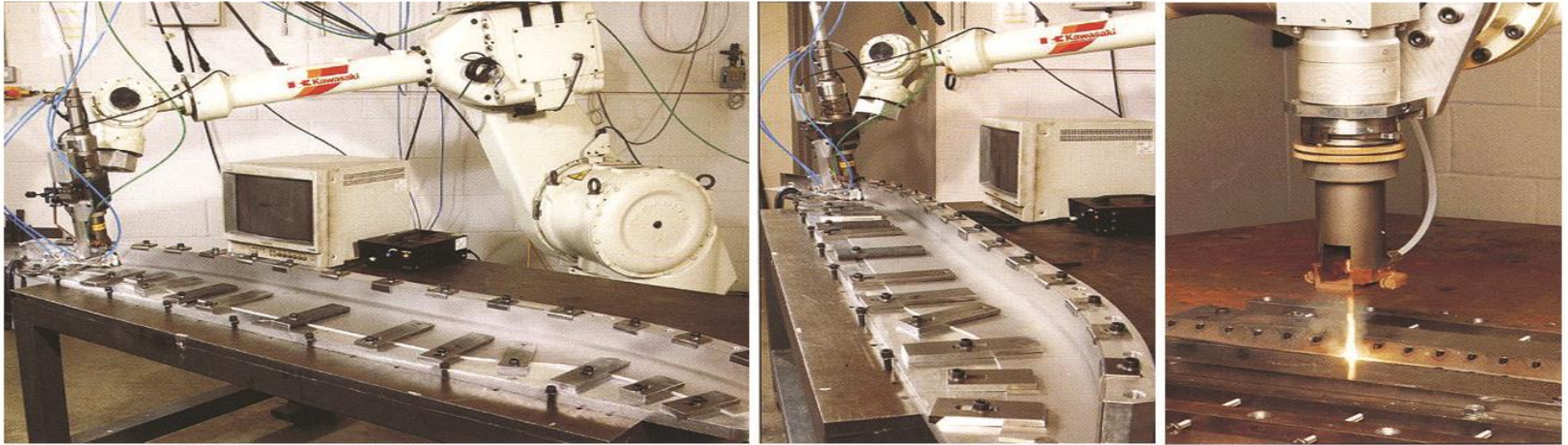
Il calore su cui la tecnica si basa non è però generato per formazione di un arco elettrico tra elettrodo di saldatura e pezzo come avviene per la saldatura ad arco, ma per concentrazione dell'energia di un fascio.

Saldatura a fascio di energia

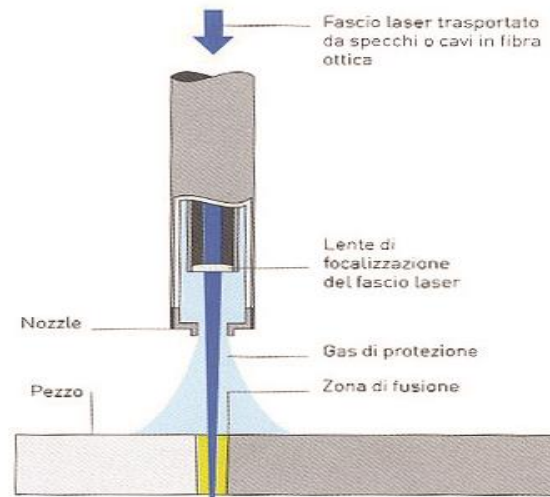
La saldatura a fascio laser crea un 'keyhole', un foro guida capillare, dentro o attraverso il quale si riesce a far penetrare in profondità il calore nel pezzo. Per effetto di questa caratteristica il processo può servire anche a tagliare, incidere, lavorare, perforare materiali, oltre che a saldarli (fondere) tra loro. Il laser fonde e vaporizza il materiale. La saldatura a fascio laser si presta dunque alla giunzione di vari materiali come gran parte dei metalli e delle termoplastiche di spessore compreso tra 1 e 15 mm.

La saldatura laser si usa in un'ampia serie di applicazioni industriali tra cui telai in alluminio per automobili, costruzioni, lavorazioni navali e strutture di autoveicoli. Si usa anche per saldare pellicole termoplastiche, parti stampate a iniezione, tessuti e componenti trasparenti nei settori automobilistico, medico e del packaging.

Saldatura a fascio di energia



La saldatura a fascio laser





Saldatura per attrito

I processi di saldatura per forgiatura si usano per formare giunti permanenti sui metalli. Le tecniche principali sono per attrito rotante e per attrito lineare.

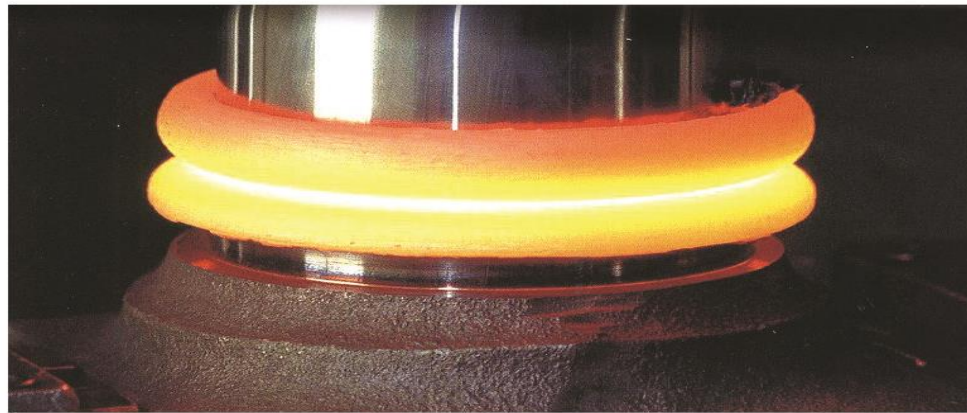
Queste tecniche convenzionali di saldatura saldano per effetto del calore prodotto dall'attrito per sfregamento dell'interfaccia di contatto, che passa allo stato plastico. La pressione assiale applicata porta il materiale a fondersi.

La saldatura ad attrito crea saldature di elevata integrità. I giunti di testa sono fusi sull'intera interfaccia di contatto. Il processo non produce scarto.

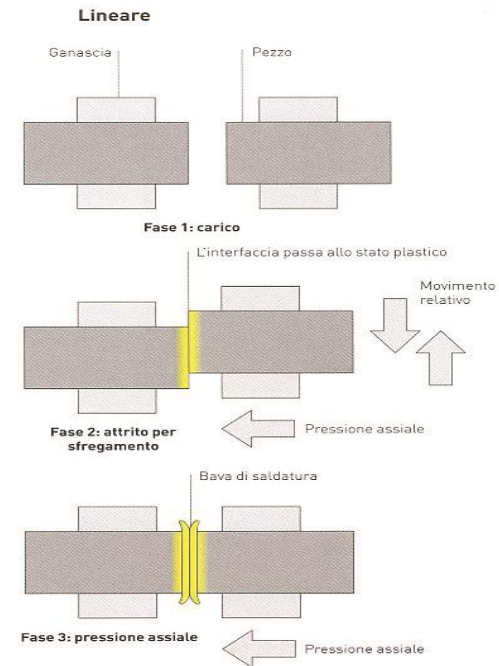
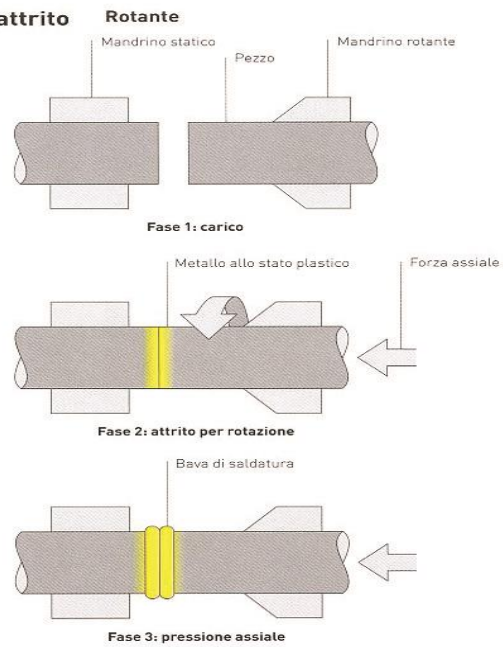
L'applicazione di questi processi si concentra nei settori automobilistico, dei trasporti, navale e aerospaziale.

Nell'industria automobilistica la saldatura ad attrito rotante si usa per pezzi critici come alberi motore, assi e cambi, quella lineare su parti di motori, dischi dei freni e cerchi

Saldatura per attrito



La saldatura ad attrito



Saldatura a resistenza

È una tecnica rapida per eseguire saldature tra due lastre di metallo. Le tecniche di saldatura a resistenza si basano sullo stesso principio e cioè il passaggio di elevate correnti tra due parti di metallo, che fondendo parzialmente si uniscono.

Come suggerisce il nome, questi processi dipendono dalla resistenza del materiale alla conduzione di elettricità. Alte correnti tra due elettrodi provocano il riscaldamento del metallo e il suo passaggio allo stato plastico. Applicando una pressione durante la lavorazione, la zona fusa coalesce e forma di conseguenza una saldatura.



Saldatura a resistenza

I tre principali processi di saldatura a resistenza sono a proiezione, a punti e a cordone; sono usati in molte industrie del metallo su lastra, ma soprattutto nella costruzione di autoveicoli.

La saldatura a proiezione si differenzia dalla saldatura a punti per avere più punti di saldature che vanno a coprire una superficie maggiore di aderenza.

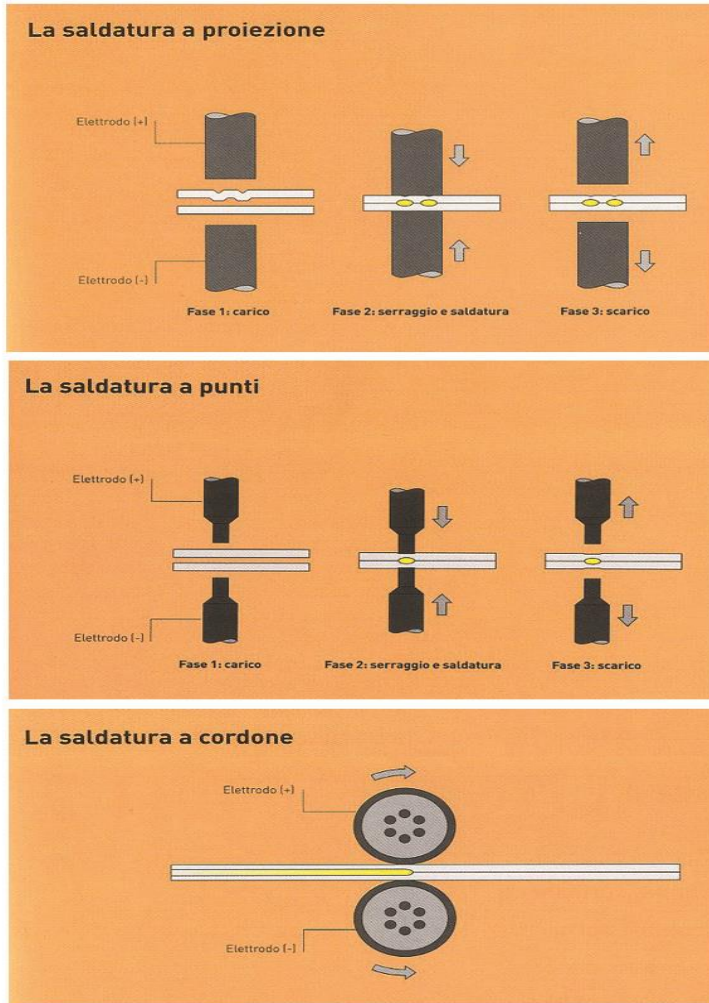
La saldatura a cordone si usa su prodotti come radiatori, serbatoi per gas e acqua e per carburanti.

La saldatura a resistenza è molto più semplice, uniforme ed economica delle altre tecniche di saldatura.

Questo tipo di giunzione permette di unire una gran parte di metalli, compresi acciai al carbonio, acciai inossidabili, nichel, leghe di alluminio, titanio e rame.

Il processo non genera scarto

Saldatura a resistenza



Brasatura

La brasatura è un processo di saldatura che consiste nel fondere materiale d'apporto tra parti adiacenti.

In passato questa tecnica impiegava per la giunzione materiale d'apporto a base di piombo per saldare i telai delle vetrate artistiche o parti di sculture in rame. Oggi a causa dell'impatto ambientale negativo del piombo sono più diffusi materiali come lega d'argento, ottone, stagno, rame e nichel.

Il processo è caratterizzato da tre elementi principali: riscaldamento, flusso e materiale d'apporto. Il materiale d'apporto può penetrare nel giunto per azione capillare o bagnatura, oppure essere inserito come elemento preformato.

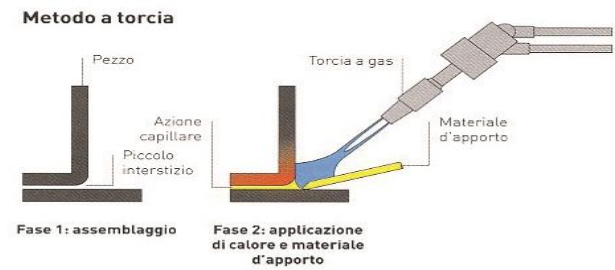
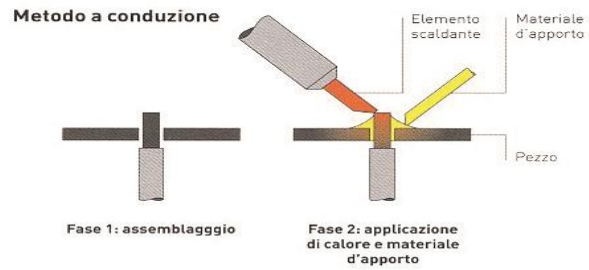
Il punto di fusione del materiale d'apporto determina la tipologia di brasatura detta dolce (sotto i 450°C) o forte (sopra i 450°C). La brasatura forte è generalmente più resistente di quella dolce poiché usa un materiale d'apporto con punto di fusione superiore.

Applicazioni più comuni sono impiegate in giunzioni di tubazioni industriali, telai di biciclette, gioielli e orologi.

Brasatura



La brasatura



Processi di giunzione

- ✓ **saldatura e brasatura**
- ✓ **giunzioni meccaniche**
- ✓ **incollaggio**



Operazioni di finitura superficiale

Verniciatura a spruzzo

La verniciatura a spruzzo è un mezzo rapido ed efficiente per applicare adesivi, fondi, colori, lacche, oli, sigillanti, vernici e smalti. È il tipo di superficie a determinare la finitura più adatta e la durata della lavorazione.

Il rivestimento a spruzzo è l'applicazione di materiali in sospensione liquida su una superficie. Solitamente il prodotto applicato a spruzzo assolve a una o più funzioni: riempitivo, fondo, colore, decorazione e protezione (gamma di colori standard - RAL e Pantone)

Finiture altamente lucide, intense e colorate si ottengono grazie a una meticolosa preparazione della superficie, della mano di base e di quella finale. Ruolo della base è fare da sfondo uniforme per una mano di finitura altamente lucida e trasparente. Quest'ultima contiene lamelle o scaglie di colore che durante l'applicazione vengono spruzzati sulla superficie della base. In questo modo si ottiene un rivestimento a strati multipli, ricco di colore in prossimità dello strato di fondo e quasi trasparente in quello più esterno, che permette di creare una finitura lucida, ricca e intensamente colorata.

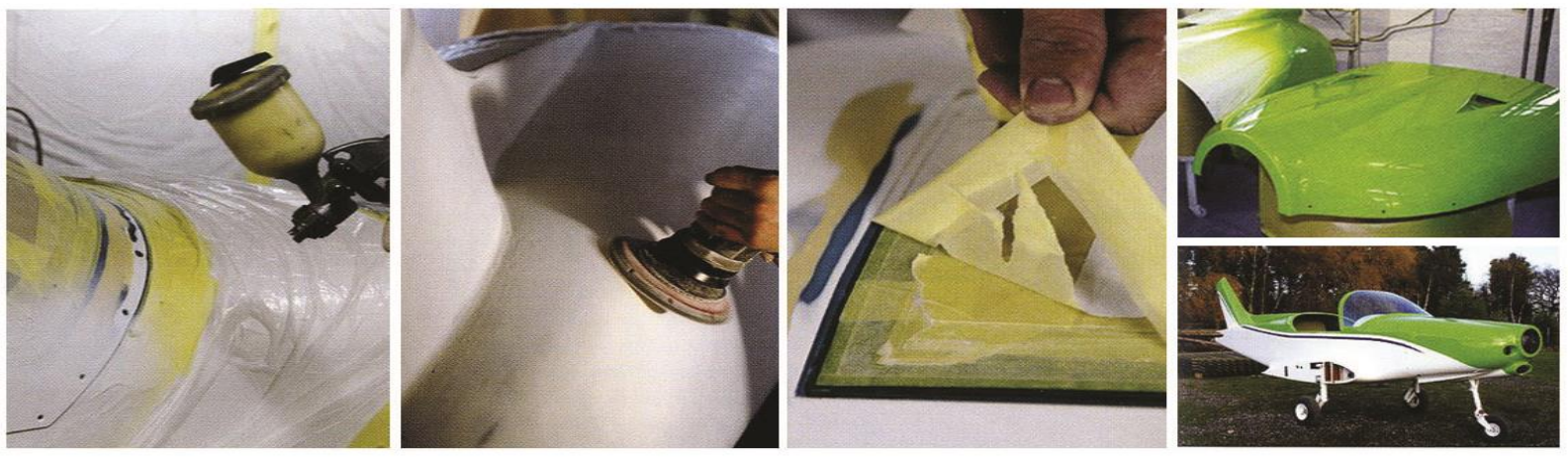
Verniciatura a spruzzo

Nella maggior parte dei casi le verniciature a spruzzo si applicano a mano (la qualità della finitura dipende dall'abilità dell'operatore). Nell'industria automobilistica, dell'elettronica e delle apparecchiature di consumo si impiegano sistemi robotizzati di verniciatura.

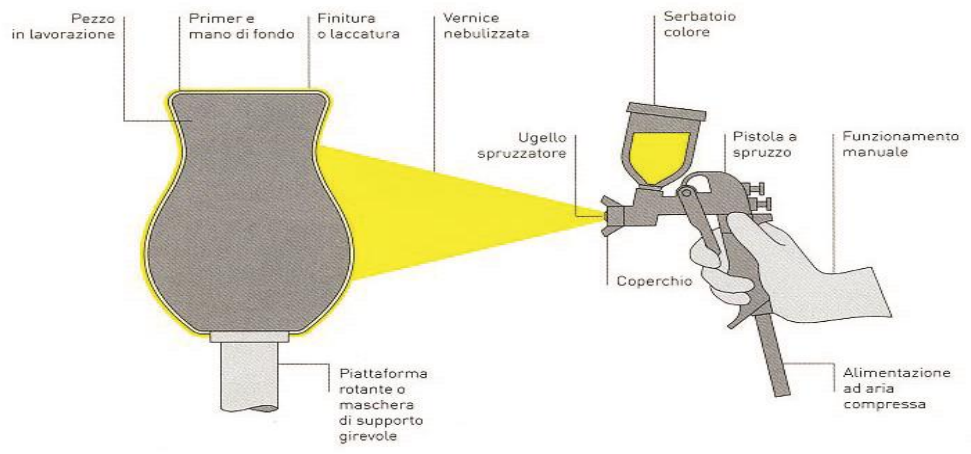
Con vernice (prodotto liquido denso a base di solventi chimici e sostanze filmogene), smalto (prodotto liquido denso, analogo alla vernice, ma costituito da prodotti di natura vetrosa opaca) e laccatura si possono rivestire quasi tutti i materiali, anche se su alcune superfici si deve applicare uno strato intermedio (primer di adesione).

Gli smalti che contengono vetro sono adatti solamente a materiali con punto di fusione elevato, come ceramica e metallo.

Verniciatura a spruzzo



La verniciatura a spruzzo



Verniciatura a polveri

Questo processo di finitura a secco si usa per rivestire a spruzzo oppure a letto fluidizzato elettrostatico vari tipi di oggetti metallici. La polvere aderisce elettrostaticamente al pezzo ed è essiccata a forno per ottenere un rivestimento protettivo lucido.

Il rivestimento a polvere si usa principalmente per proteggere pezzi metallici da corrosione, spesso con l'aggiunta di colore. Il polimero forma sulla superficie del metallo uno strato esterno durevole.

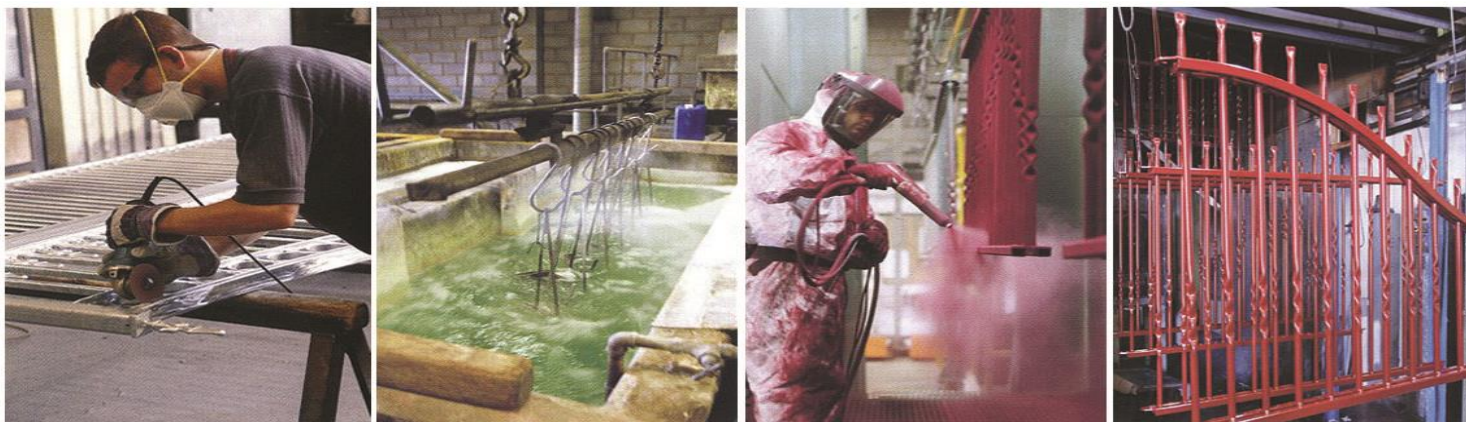
La tecnica di rivestimento a spruzzo più diffusa è quella elettrostatica. I materiali per rivestimento a spruzzo sono composti da una miscela di ingredienti come resina, pigmento, additivi e leganti che si macina in una polvere fine, in modo che in ogni granello contenga gli ingredienti necessari.

Verniciatura a polveri

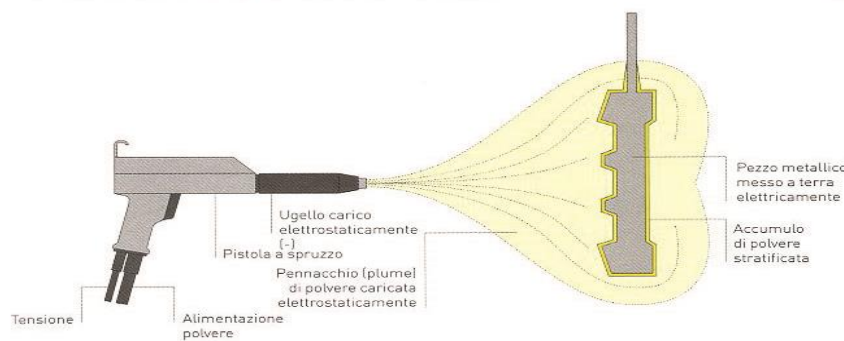
La cottura a forno del rivestimento polimerico, produce sul pezzo una finitura superficiale lucida, resistente e dura, uniforme grazie alla specifica natura del processo. La polvere in sospensione nell'aria fluidizzata, infatti, è attratta dalla superficie del pezzo e vi aderisce elettrostaticamente.

Il rivestimento a polvere applicato su superfici di 'pezzi' sottoposti ad alta temperatura (settore automobilistico), per gli elementi di arredo per esterni ed interni e in prodotti per la casa e l'ufficio.

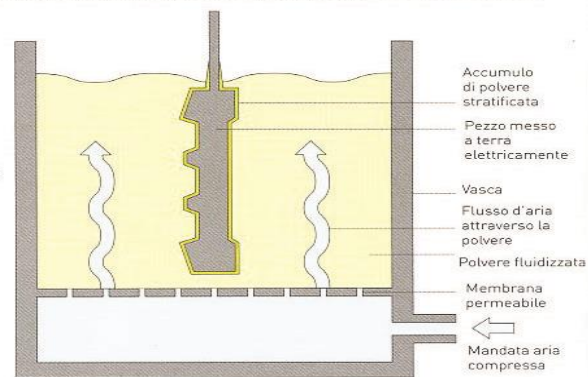
Verniciatura a polveri



Il rivestimento a spruzzo elettrostatico



Il rivestimento a letto fluidizzato elettrostatico





Anodizzazione

Superfici di alluminio, magnesio e titanio si possono anodizzare formando uno strato protettivo di ossido che è grigio chiaro al naturale, ma si può colorare elettrostaticamente o tingere con una gamma di vivaci colori come rosso, verde, blu, oro, bronzo e nero.

Il termine anodizzazione si riferisce a un gruppo di processi che si utilizzano per trattare la superficie dei metalli. Il pezzo funge da anodo e viene immerso in soluzione elettrolitica. Il processo forma naturalmente sulla superficie del metallo uno strato di ossido, creando un rivestimento duro, protettivo e autoriparante, l'ossido di alluminio è inerte e tra i più duri materiali utilizzati.

I metodi principali di anodizzazione sono tre: naturale, duro e con acido cromatico. La maggior parte delle anodizzazioni in architettura e nel settore automobilistico e quelle generiche si eseguono in acido solforico con metodi naturale e duro. La tecnica di lavorazione con acido cromatico è più specializzata.

Anodizzazione

L'anodizzazione si utilizza per proteggere e valorizzare il metallo a uso di interni o esterni (settore automobilistico, delle costruzioni, dell'elettronica e negli artefatti per il tempo libero).

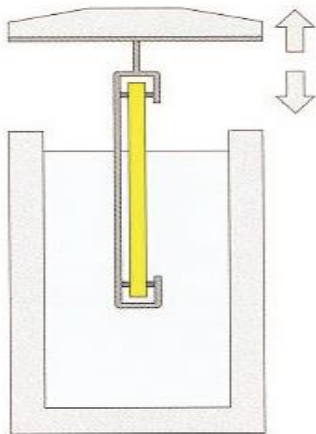
L'anodizzazione incrementa la naturale resistenza del materiale all'erosione senza aumentare in modo significativo il peso. La pellicola anodica è parte integrante del metallo base e quindi non si spella come in altri processi di rivestimento.

I vantaggi sono la durezza, facilità di manutenzione, stabilità del colore, l'ampia gamma colore, resistenza a usura, calore e corrosione oltre che essere atossica.

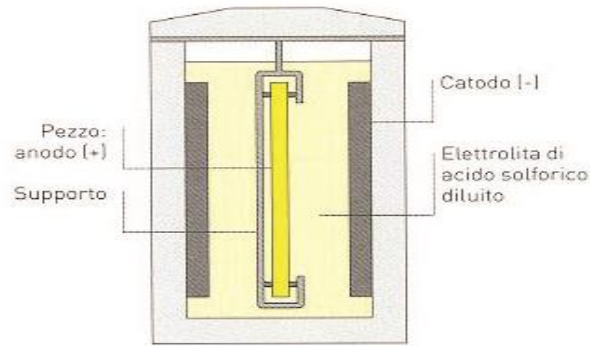
Anodizzazione



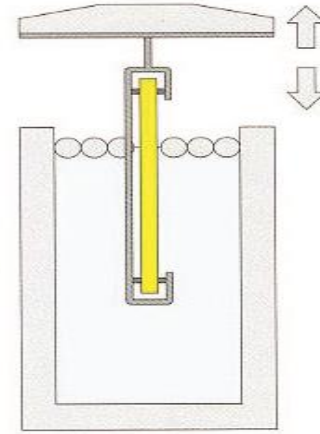
L'anodizzazione



Fase 1: pulitura e depatinatura



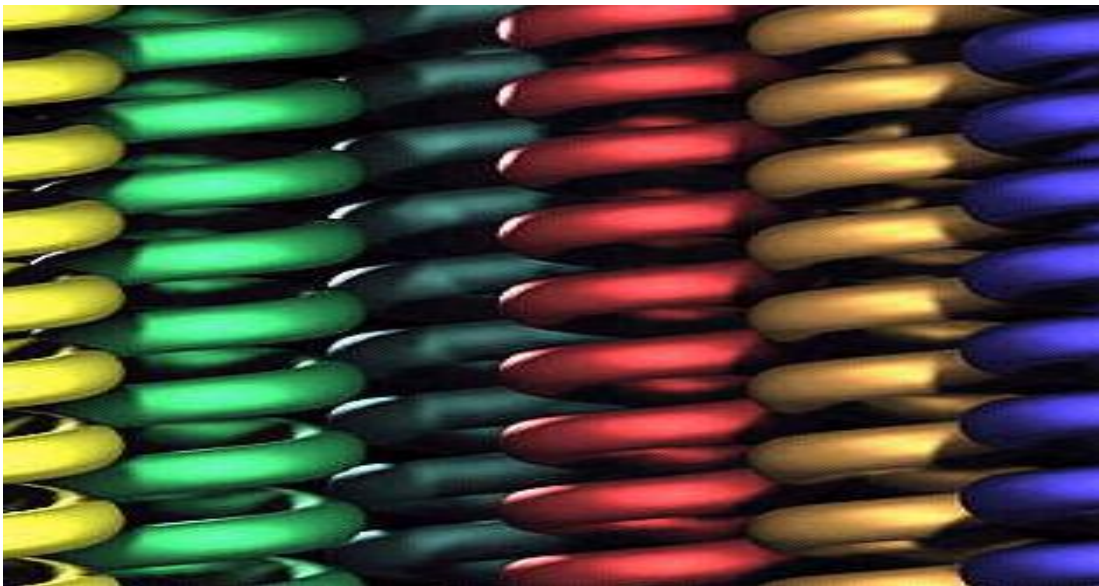
Fase 2: anodizzazione



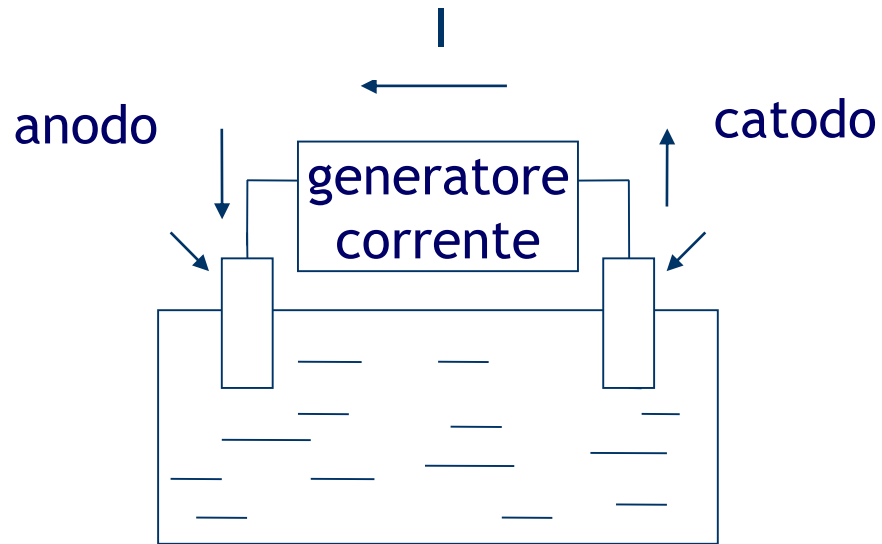
Fase 3: fissaggio

Anodizzazione

- ✓ alluminio
- ✓ titanio



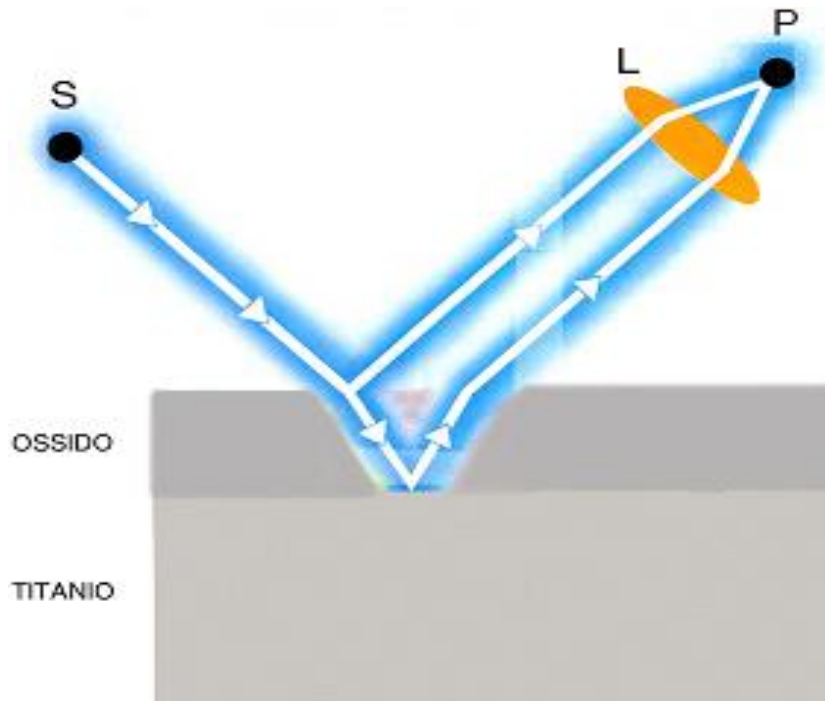
Anodizzazione Al



Anodizzazione Ti



Colorazioni Ti



Per un fenomeno di interferenza ottica il titanio, rivestito da film di ossido ad accresciuto spessore, assume colorazioni diverse che dipendono dallo spessore del film superficiale.

Quando i raggi di luce attraversano il film di ossido, questi sono parzialmente riflessi, rifratti e assorbiti.

modificando la finitura superficiale del titanio è possibile cambiare notevolmente la sensazione cromatica.

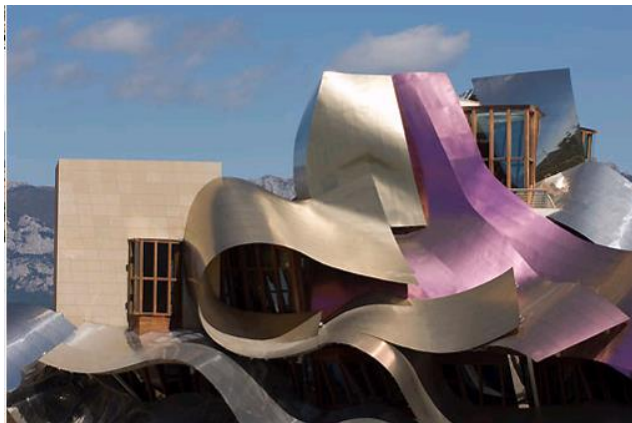
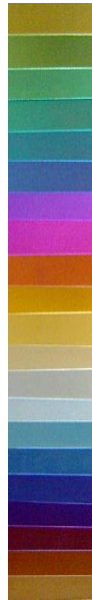
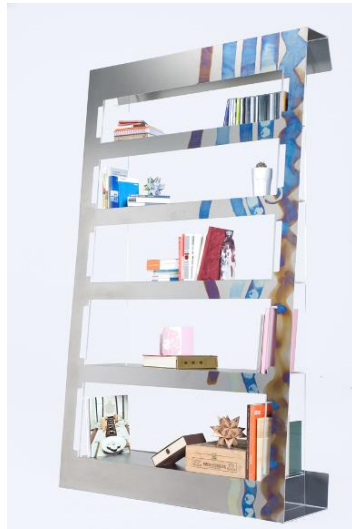
Colorazioni Ti



F. Marra:

Materiali metallici

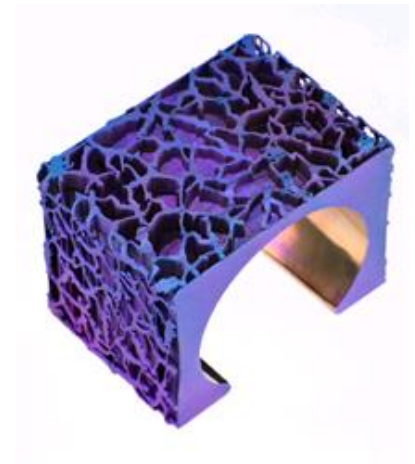
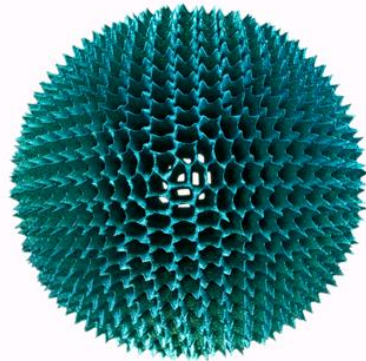
Colorazioni Ti



F. Marra:

Materiali metallici

Colorazioni Ti



Placcatura elettrolitica

È un processo elettrolitico che si usa per applicare una sottile pellicola di metallo su un'altra superficie metallica. Tra materiale base e rivestimento si forma un legame metallurgico forte. La lavorazione produce finiture funzionali, durevoli e decorative.

Con un processo elettrochimico si depositano sulla superficie del pezzo sottili strati di metallo. (micrometri)

Il metallo placcato elettroliticamente gode della combinazione delle proprietà dei due materiali. L'ottone placcato argento, per esempio, combina forza a basso costo del primo con la lucentezza di lunga durata del secondo.

Placcatura elettrolitica

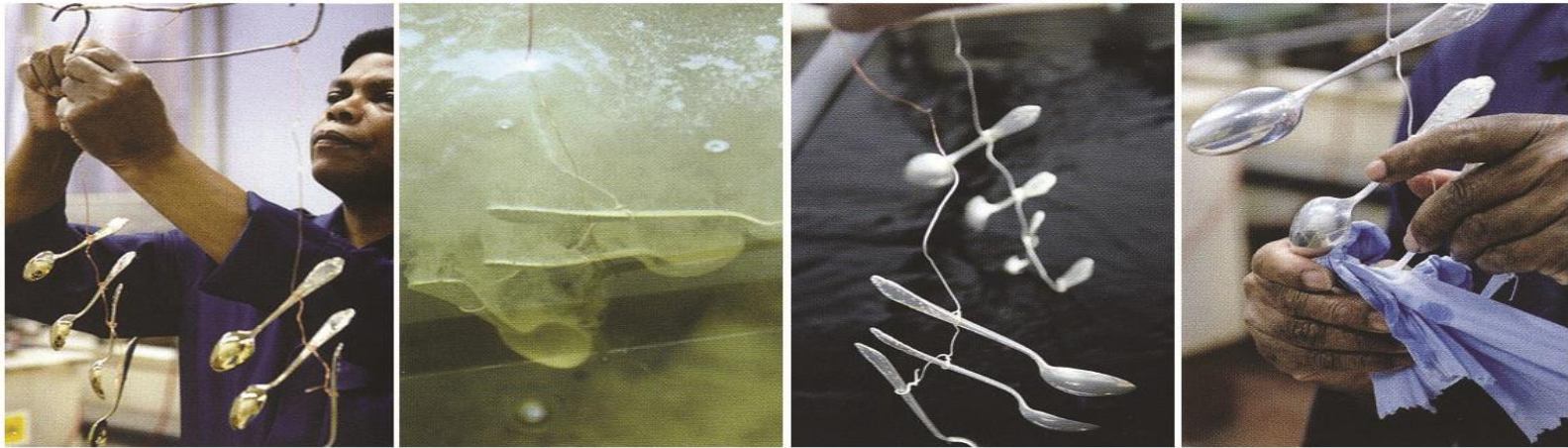
Per essere placcati elettroliticamente i pezzi devono essere collegati sotto tensione continua, cosa che avviene in due modi: con la tecnica a 'cavo libero' o montandoli su supporto rigido.

La lavorazione è molto usata da produttori di gioielli e argenterie per formare i pezzi con materiali poco costosi, dotati però di opportune proprietà meccaniche per poi rivestirli con oro o argento e dare alla superficie una finitura brillante, inerte e antiossidante. (anelli, orologi, braccialetti, coppe, piatti e vassoi)

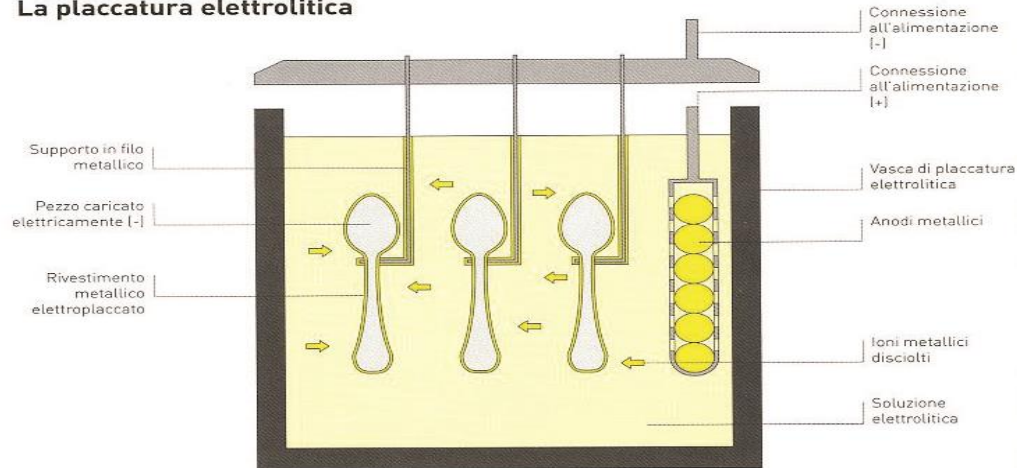
Il principale vantaggio di questo processo di placcatura è che si riesce a produrre una superficie dall'aspetto di un metallo pregiato con materiali meno costosi e più adatti a specifiche a specifici impieghi.

I materiali più utilizzati sono stagno, cromo, rame, nichel, argento e oro.

Placcatura elettrolitica



La placcatura elettrolitica



Placcatura elettrolitica

- ✓ cromo
- ✓ stagno
- ✓ metalli preziosi



Placcatura elettrolitica

- ✓ cromo
- ✓ stagno
- ✓ metalli preziosi



Placcatura elettrolitica

- ✓ cromo
- ✓ stagno
- ✓ metalli preziosi



Galvanizzazione o zincatura

In questo processo l'acciaio o il ferro vengono immersi in zinco fuso, che lega metallurgicamente con la superficie creando una protezione elettrochimica contro gli elementi. La caratteristica grana brillante così ottenuta diventa nel tempo opaca e grigia.

Zinco e ferro si combinano in una lega molto efficace, che allunga notevolmente la vita del pezzo in acciaio e ferro. Il metallo non trattato si corrode nel tempo indebolendosi, ma quello galvanizzato è protetto dagli elementi e conserva quindi l'integrità strutturale.

Nella galvanizzazione lo zinco si lega metallurgicamente con il ferro e crea uno strato di lega ferro-zinco rivestito da uno zinco puro. Esso è parte integrante del materiale base e la parte intermedia in lega è molto dura, a volte di forza superiore a quella del materiale base.

Galvanizzazione o zincatura

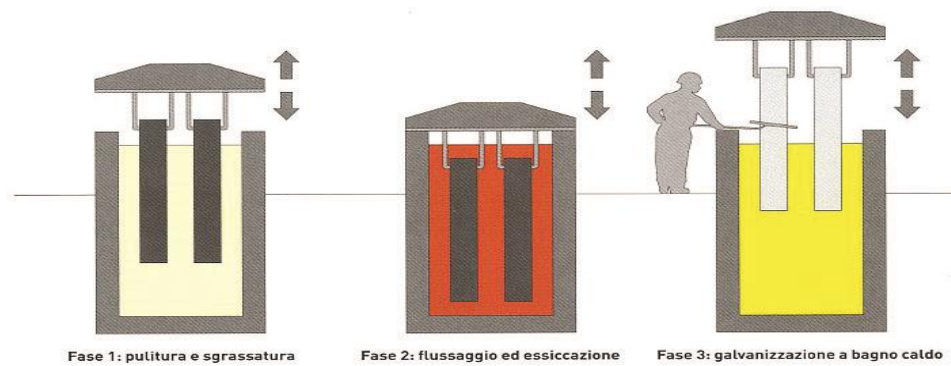
Galvanizzazione a bagno caldo e zincatura in centrifuga, le due lavorazioni possibili, differiscono solo perché nella seconda, dopo il bagno di zinco fuso, si centrifugano i pezzi immersi in cestini per eliminare lo zinco in eccesso. Il rivestimento ottenuto è più uniforme e regolare e questo è utile soprattutto nei dispositivi di fissaggio filettati e in pezzi piccoli che richiedono accurata lavorazione.

La galvanizzazione resiste a manipolazioni aggressive nel tempo richiedendo minima manutenzione. L'acciaio galvanizzato è riciclabile e quindi la sua durata di vita è quasi illimitata.

Galvanizzazione o zincatura



La galvanizzazione a bagno caldo





Molatura, levigatura e lucidatura

In questi processi meccanici le superfici di prodotti di metallo, legno, plastica, ceramica e vetro vengono erose con granuli abrasivi per ottenere finiture di superficie da grezze a specchio. A seconda della tecnica utilizzata, del tipo e dimensione della graniglia abrasiva si ottengono grane uniformi o a pattern.

La molatura, chiamata anche rettifica o smerigliatura a seconda della lavorazione, si usa per finire la superficie di materiali duri. Il processo adempie a una serie di funzioni come la sbavatura di metalli, la preparazione di superfici per ulteriori lavorazioni, il taglio o la foratura di materiali e la finitura di precisione. Le tecniche sono varie e diverse: a disco, a nastro e su piastra, lapidatura e burattatura.

Si utilizzano materiali abrasivi di genere vario, come metallo, minerali, diamante.



Molatura, levigatura e lucidatura

Il termine levigatura si usa per descrivere un processo di erosione della superficie con supporti rivestiti di abrasivo. I granuli abrasivi sono fatti di sabbia, granato, ossido di alluminio o carburo di silicio; ogni materiale possiede vantaggi e limiti specifici. La grossezza di grana (graniglia) è determinata dalla dimensione dei granuli.

Le lavorazioni si definiscono di lucidatura quando si utilizzano per ottenere una finitura brillante e specchiante su superfici dure. Caratteristico della lucidatura è l'uso di composti in forma di paste, cere e liquidi in cui si trovano in sospensione le particelle abrasive. Di solito la pasta abrasiva si applica utilizzando un tessuto, a mano oppure con un disco ad alta velocità.

Un effetto simile si ottiene miscelando acqua a supporti rivestiti di abrasivo come la carta; l'acqua sospende i granuli abrasivi che si formano durante la levigatura, creando una pasta che fornisce una finitura di superficie finissima.

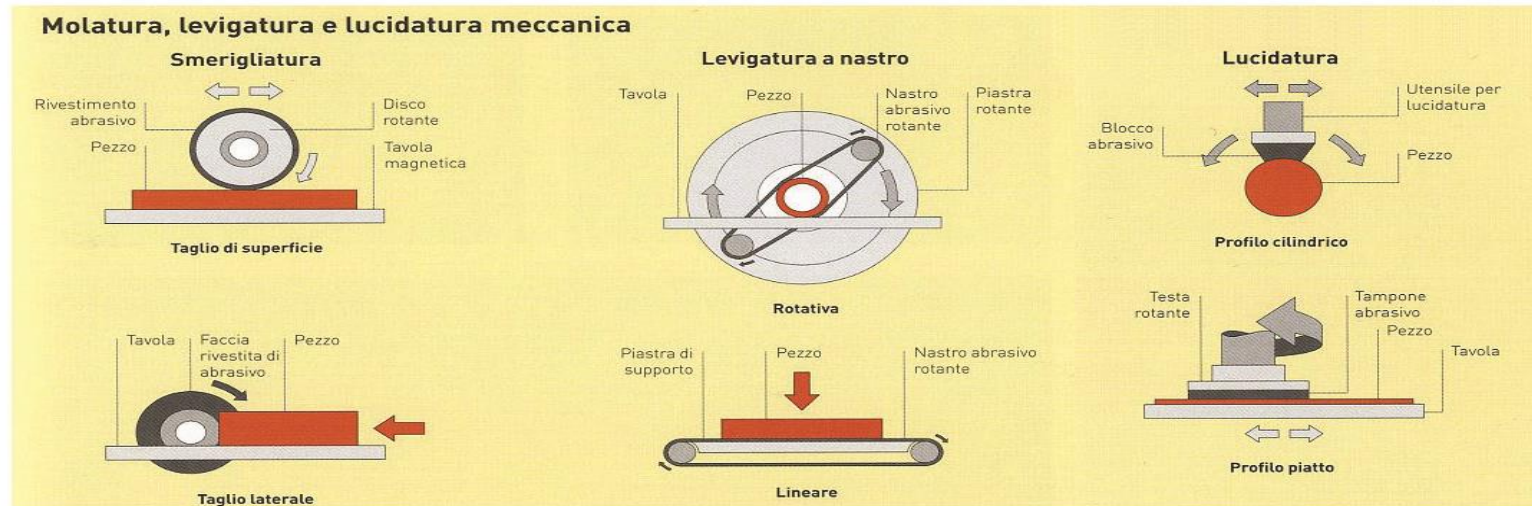
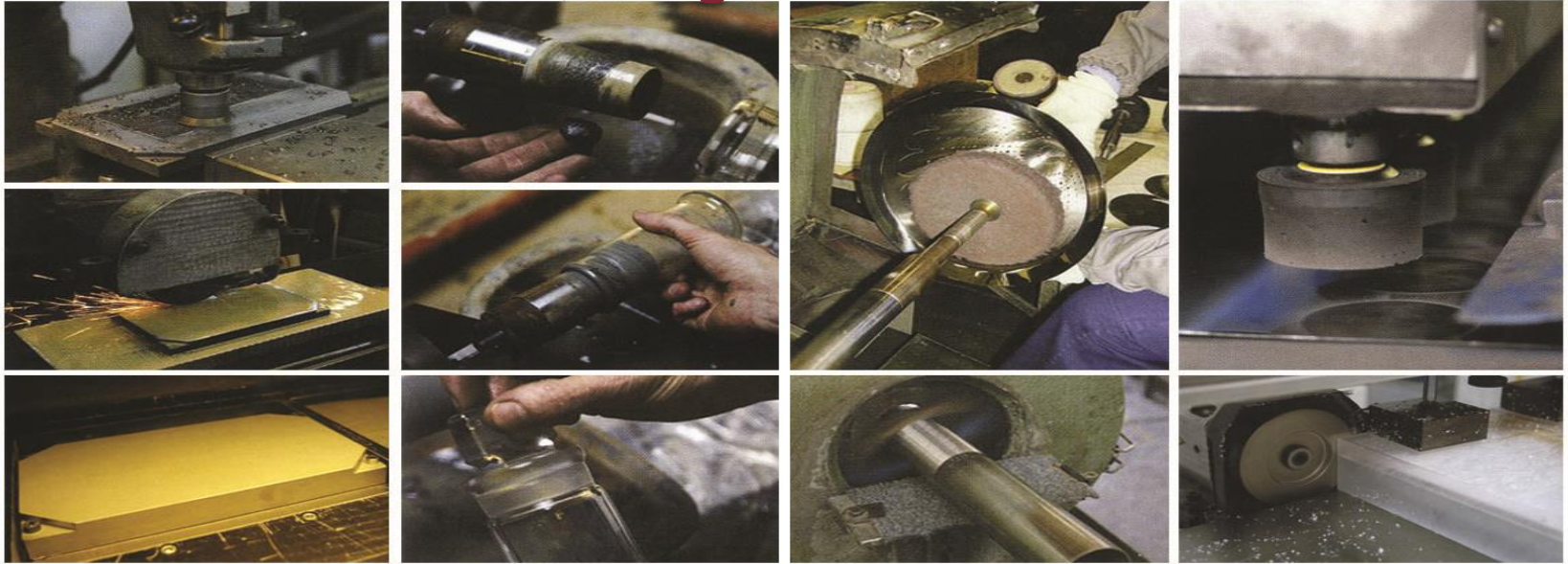


Molatura, levigatura e lucidatura

Le superfici levigate meccanicamente sono più igieniche e facili da pulire. Contrariamente le finiture satinata o a grana finissima sono soggette a impronte digitali e altri segni.

La durezza del materiale influenza la finitura della superficie. L'acciaio inossidabile è duro e si può quindi portare fino a una levigatura finissima; l'alluminio è più morbido e non si può quindi ottenere un analogo livello di finitura a specchio.

Molatura, levigatura e lucidatura



Elettrolucidatura

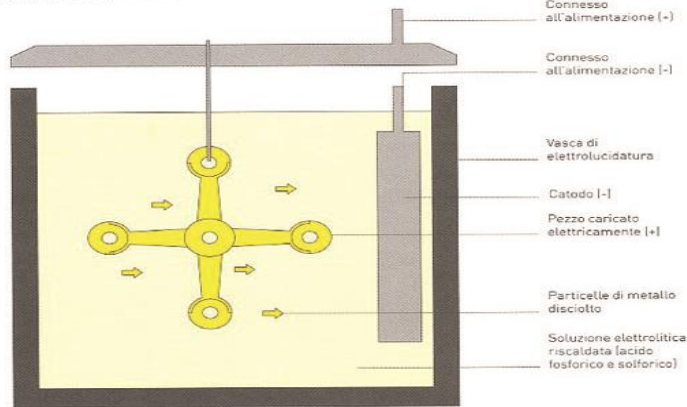
Si rimuove materiale di superficie con azione elettrochimica per ottenere una finitura brillante e pulita su pezzi metallici.

L'elettrolucidatura o lucidatura elettrochimica produce una vivida lucentezza sulla superficie dei metalli. È una lavorazione elettrochimica in cui la rimozione della superficie, che può essere molto accurata, avviene in soluzione elettrolitica.

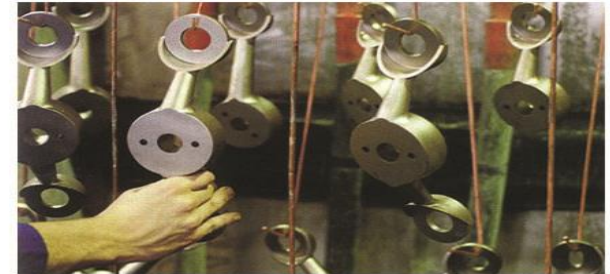
Come la lucidatura, è un processo di pulizia, sgrassatura e miglioramento della resistenza alla corrosione delle superfici metalliche. Visivamente l'acciaio inossidabile è simile a un metallo cromato.

Elettrolucidatura

L'elettrolucidatura



Dettaglio microscopico





Sabbiatura

È un termine generico che descrive il processo di asportazione del materiale della superficie con fini particelle di sabbia, metallo, plastica o altri materiali abrasivi, proiettati ad alta pressione contro la superficie del pezzo per ottenere una fine grana superficiale. Grazie a vari grani e tipi di supporto abrasivo si può ottenere una varietà di grane e di effetti che possono produrre texture finissime e più grezze.

La sabbiatura comprende vari processi come l'attacco secco, la sabbiatura con granuli plastici o microsferi di vetro e la pallinatura.

Le principali funzioni di queste tecniche sono due. La prima consiste nel preparare la superficie per operazioni secondarie, rimuovendo i contaminanti e applicando una fine grana che favorisce i processi di aggiunta superficiale. La seconda è la creazione di texture decorative sulla superficie del pezzo, per esempio modificando la trasparenza del vetro o applicando un motivo. Altre funzioni sono sbavatura, taglio e foratura.

Sabbiatura

L'incisione su vetro si usa per vetrine di negozi e in architettura; è un processo di scultura del materiale con motivi tridimensionali in rilievo, con o senza uso di mascherature.

Nei materiali trasparenti la profondità della texture influenza il livello di trasparenza potenziando la rifrazione della luce.

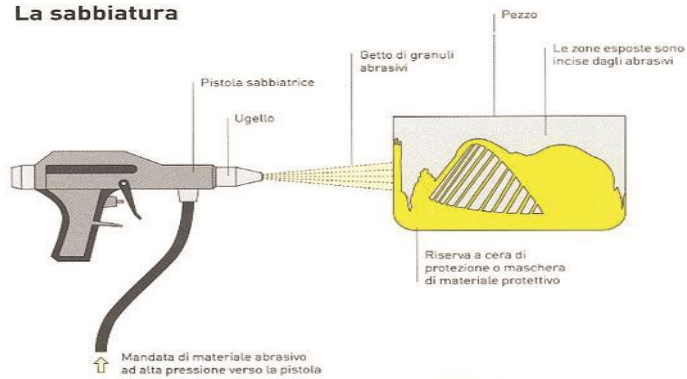
Nelle operazioni manuali la riuscita della lavorazione sta nell'abilità dell'operatore, che può riprodurre accuratamente dettagli finissimi. L'asportazione del materiale è definitiva e si deve fare attenzione a incidere la superficie in modo controllato.

Il processo è particolarmente efficace per l'incisione di superfici in metallo e vetro, ma si può usare per preparare e finire la maggior parte dei materiali, compreso legno e alcuni polimeri.

Sabbiatura



La sabbiatura



Fotoincisione

Il processo consiste nell'asportare superficie per taglio chimico per ottenere un aspetto simile a quello della sabbiatura. La superficie del metallo si maschera con una pellicola resist e le zone non protette sono disciolte chimicamente in modo uniforme.

La fotoincisione è un processo di asportazione di superficie per discioglimento chimico.

È una lavorazione precisa e a basso costo. La pellicola fotosensibile (photo-tooling) consiste in acetato stampato, non costoso da sostituire. L'accuratezza dell'incisione è determinata dallo stato di vernice protettiva fotosensibile (photo-resist) che protegge le zone del foglio che devono rimanere inalterate.

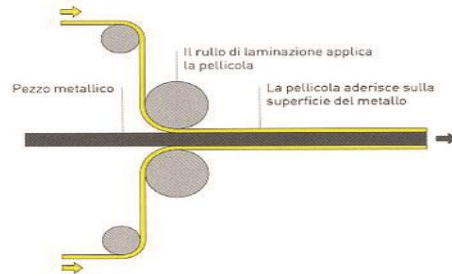
Fotoincisione

Un importante vantaggio della lavorazione fotochimica è la minore probabilità di provocare distorsioni grazie all'assenza di calore, pressione o contatto con utensili; la forma finale è priva di sollecitazioni di lavorazione.

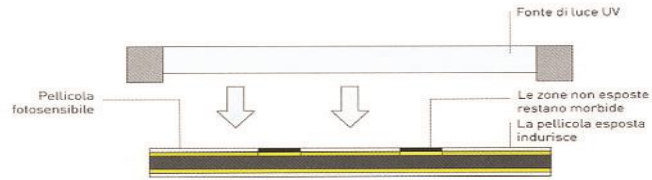
Alcune applicazioni sono per esempio segnaletica, pannelli di controllo, targhe, placche e trofei. Anche gioiellieri e argentieri si servono di questa tecnica per ottenere effetti decorativi.

Fotoincisione

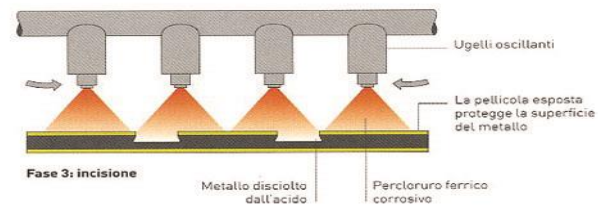
La fotoincisione



Fase 1: applicazione del photoresist (pellicola fotosensibile)



Fase 2: esposizione a luce UV



Fase 3: incisione



Incisione CNC

Il processo di incisione CNC è un metodo preciso, ripetibile e di alta qualità utilizzato per incidere superfici bidimensionali e tridimensionali. Riempiendo le incisioni con colori diversi e utilizzando materiali trasparenti si valorizzano efficacemente i dettagli progettuali.

I due metodi principali utilizzati per realizzare incisioni sono le tecnologie CNC e laser. Questi processi hanno sostituito la lavorazione a mano con ceselli o pantografi, lavorazione che si pratica ancora ma che comporta costi di manodopera troppo elevati per poter essere competitiva.

Un altro importante fattore a favore delle tecnologie CNC e laser, è che si possono utilizzare per incidere una gamma più ampia di materiali, compresi l'acciaio inossidabile e il titanio.

La velocità di taglio è determinata dal materiale e dall'utensile di incisione.

Incisione CNC

Il processo di incisione CNC si esegue su macchinari di fresatura o pantografi che operano su un minimo di tre assi: x, y e z.

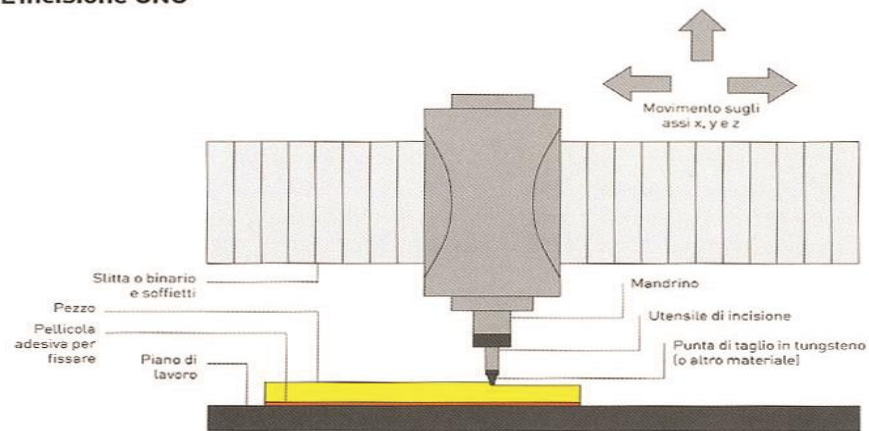
Le tecnologie laser si prestano all'incisione di dettagli finissimi, fino a 0.1 mm.

Con l'incisione CNC si possono lavorare quasi tutti i materiali: plastica, schiuma, legno, metallo, pietra, vetro, ceramica e compositi.

Incisione CNC



L'incisione CNC





Serigrafia

È un processo di stampa a umido usato per applicare elementi grafici su un'ampia gamma di materiali di adeguata consistenza e ogni tipo di superficie piatta o cilindrica. È a basso costo e si può usare su materiali diversi come tessuto, carta, vetro, plastica e metallo. I sistemi di essiccazione UV permettono di terminare il processo nel giro di qualche secondo.

Produzioni tipiche sono carta da parati, manifesti, volantini, elementi di sicurezza sulle banconote, abiti, segnaletica, opere d'arte e packaging.

L'inchiostro si può serigrafare direttamente sulla superficie del prodotto oppure su etichetta adesiva da applicarvi sopra.

Serigrafia

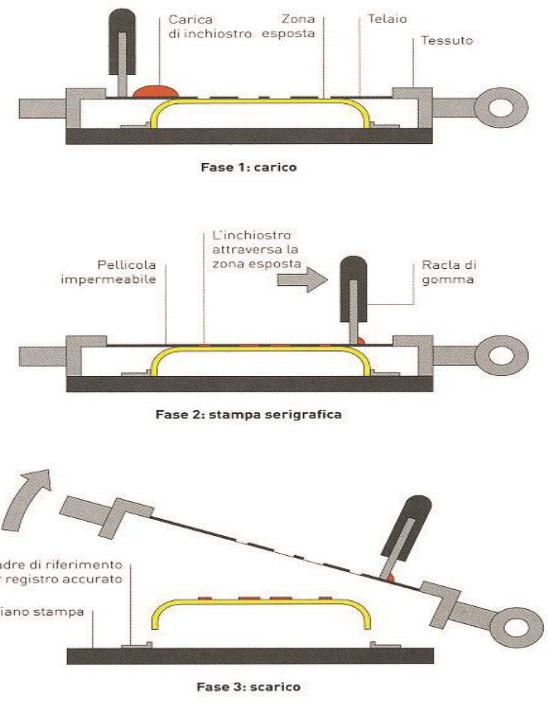
La gamma dei colori è molto ampia e include le gamme Pantone e RAL. Anche le varietà di inchiostro sono numerose e comprendono tra l'altro vernici trasparenti, metalliche, fluorescenti e schiume.

Come negli altri metodi di stampa, l'applicazione dell'inchiostro può essere lineare o rotativa; la seconda tecnica rende possibile la stampa in continuo su superfici ondulate o tutt'intorno a prodotti cilindrici come packaging di cosmetici.

Non è possibile stampare su superfici ondulate o concave, dove questa tecnica è sostituita dalla tampografia o dalla dippatura.

Serigrafia

La serigrafia





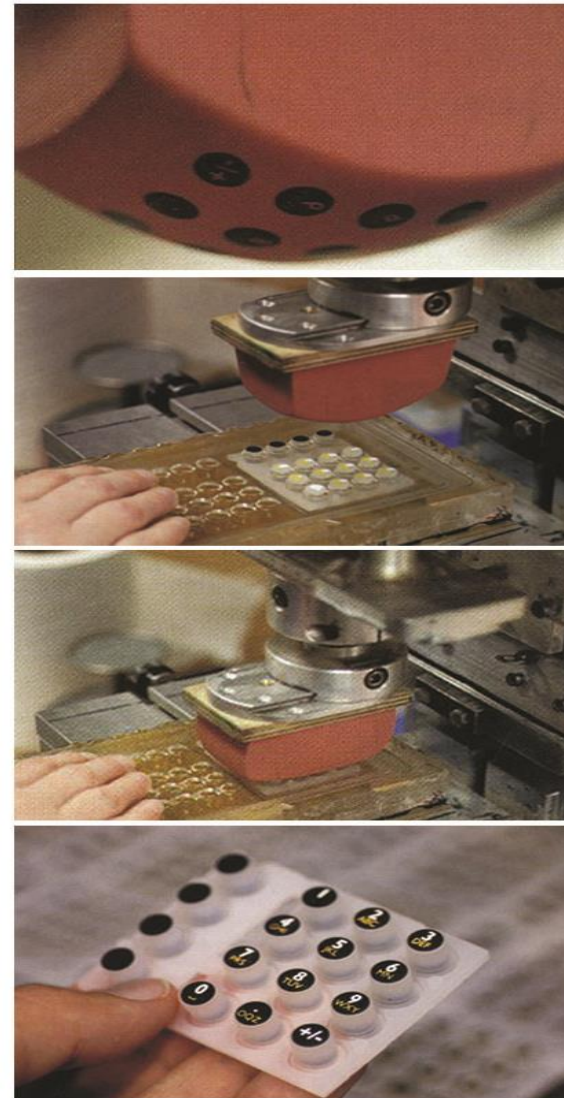
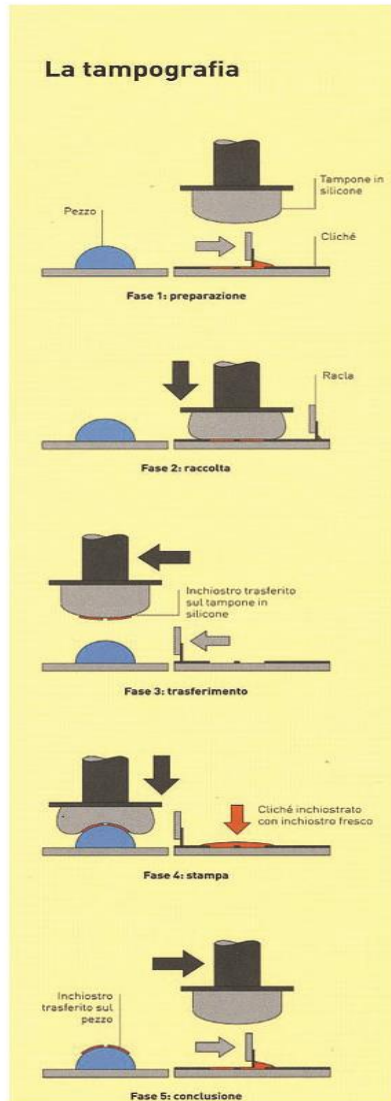
Tampografia

La tampografia, o stampa a tampone, è un processo di stampa a umido usato per applicare inchiostro su superfici tridimensionali, ondulate, concave, convesse o delicate. Questo è possibile perché l'inchiostro si applica sul prodotto con un tampone di silicone. Quando il materiale entra in contatto con la superficie, la avvolge perfettamente deformandosi in misura solo minima; per questo motivo è possibile applicare elementi grafici su un'ampia varietà di superfici senza perdite di forma o di qualità. Questa lavorazione stende uno strato di inchiostro molto più sottile rispetto alla serigrafia. In applicazioni retroilluminate o critiche, può rendersi necessaria l'applicazione di strati multipli.

Si può utilizzare per applicare logo, elementi grafici e altri dettagli di colore pieno su quasi tutti i materiali.

Come negli altri metodi di stampa, l'applicazione dell'inchiostro può essere lineare o rotativa; la seconda tecnica rende possibile la stampa in continuo su superfici ondulate o tutt'intorno a prodotti cilindrici come packaging di cosmetici.

Tampografia





Dippatura

È una tecnica di trasferimento ad acqua utilizzata per applicare finiture decorative su superfici tridimensionali. Vividi elementi grafici sono stampati in digitale su film idrosolubile e poi avvolti sul prodotto sfruttando la pressione dell'acqua.

La dippatura è nota con molti nomi diversi tra cui trasferimento ad acqua o a immersione, cubicatura e altri ancora.

L'intera superficie del prodotto si può, per esempio, rivestire con venature a stampa effetto legno, marmo, pelle di serpente o fibra di carbonio. L'effetto è iperrealistico e riesce a trasformare l'aspetto di un prodotto piatto o tridimensionale.

Le pellicole per il transfer si stampano in digitale e quindi le immagini possono consistere di fondi pieni, multicolore o toni continui senza che questo abbia alcun effetto sui costi.

La dippatura è un metodo vantaggioso dal punto di vista dei costi per applicare finiture decorative su gusci di telefoni cellulari, mouse per computer, occhiali da sole e attrezzatura sportiva.

Dippatura

